



RAPPORT D'ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

2017

SOMMAIRE

01

Les activités scientifiques et techniques au service des projets et des activités opérationnelles de l'Andra

—
08

02

L'Andra et la communauté scientifique

—
27

03

La gouvernance scientifique de l'Andra

—
36

04

L'Andra et le public

—
37

Annexes

—
39

Édito



Pierre-Marie Abadie
Directeur général de l'Andra

Il est commun de souligner que chaque année passée par l'Andra est une année particulière pour l'ensemble de ses activités. 2017 n'a pas dérogé à cette règle ; riche en événements divers y compris d'ordre public, avec la fin de l'occupation du bois Lejuc, j'en retiendrais plus particulièrement deux :

- l'avis de l'autorité de sûreté nucléaire sur le dossier d'options de sûreté du projet Cigéo : après une année d'instruction par l'IRSN, une revue internationale et la tenue d'un groupe permanent des experts, elle marque une étape fondamentale

dans le développement progressif du projet Cigéo vers la Demande d'autorisation de création en 2019 ;

- la thèse de L. Patinaux autour des modalités de l'analyse de la sûreté à long terme de Cigéo : elle a eu le mérite de reposer la question de la gestion des incertitudes de connaissances scientifiques dans un projet comme Cigéo qui renvoie à une très longue échelle de temps. Les connaissances scientifiques et leurs incertitudes ne peuvent être analysées dans un référentiel absolu, mais au regard des risques et des impacts sur l'homme et l'environnement, et l'enjeu est dans la maîtrise des incertitudes et une confiance raisonnable pour permettre aux décideurs d'asseoir, *in fine*, leurs choix.

Tous ces événements illustrent l'effort continu mené en 2017 par l'Andra en matière de travaux scientifiques et techniques, tant en études qu'en recherche et innovation ; ils sont un socle indispensable pour développer les projets de stockage de l'Andra, soutenir l'exploitation des centres de surface existants et préparer les progrès de demain. Sans viser l'exhaustivité, le rapport d'activités scientifiques et techniques 2017 souligne ainsi la diversité de ces travaux, mais aussi des acteurs internes et externes à l'Andra qui œuvrent chaque jour pour garantir *in fine* une gestion sûre des déchets radioactifs.

La sûreté des stockages de déchets radioactifs est un objectif fondamental de l'Andra. Concernant l'homme et l'environnement, l'exploitation et l'après-fermeture, la sûreté doit s'entendre dans une vision systémique permettant la mise en œuvre de filières de gestion adaptées et proportionnées aux différents déchets radioactifs. Pour ce faire, elle doit reposer en particulier sur un socle de connaissances scientifiques et techniques robuste, et une intégration des incertitudes qui lui sont liés au regard notamment des grandes échelles de temps des stockages et des enjeux de sûreté au sens large.

En apportant un regard concret sur les activités scientifiques et techniques de l'Andra menées en propre ou avec l'appui des équipes du monde scientifique et technique, le rapport d'activités scientifiques et techniques 2017 illustre le lien particulier entre science, technique et sûreté pour les stockages et le rôle d'architecte ensemble scientifique et technique de l'Andra en appui à la gestion des déchets radioactifs. Cette illustration vise ainsi tant les centres de surface en exploitation que les projets de stockage, en particulier le projet Cigéo, et l'amont des stockages.



Soraya Thabet
Directrice sûreté, environnement
et stratégie filières



Frédéric Plas
Directeur de la recherche et développement



Marc Leguil
Directeur de l'ingénierie



Patrick Landais
Directeur du développement, de l'innovation
et de l'international

LES TEMPS FORTS DE LA R&D 2017

JANVIER

Organisation du workshop « Clay Platform on erosion » dans le domaine de la géoprospective entre l'Andra, la Nagra et l'Ondraf.

Résultats de la seconde édition de l'appel à projets Andra sur l'optimisation de la gestion de déchets radioactifs de démantèlement : 19 projets sélectionnés.

Signature de la convention RATP/Andra de partage de données sur les fibres optiques.

MARS

Participation de l'Andra à la 7^e édition de la Clay Conference à Davos (Suisse).

SEPTEMBRE

OCTOBRE

Journée innovante dédiée aux systèmes mobiles d'inspection et d'intervention.

Démarrage d'une nouvelle campagne d'investigations géologiques pour le programme FA-VL.

Diffusion du programme de R&D Activités scientifiques et technologiques en support à la préparation du dossier de DAC de Cigéo – première version.

MAI

Creusement d'un démonstrateur d'alvéole HA de plus de 100 m de long, avec injection du matériau de remplissage, au Laboratoire souterrain de recherche de Meuse/Haute-Marne.

Workshop de clôture du projet européen JOPRAD préparant la mise en place d'un grand European Joint Programme sur la R&D relative à la gestion à long terme des déchets radioactifs.

Journée d'échanges Andra/Inria sur la simulation numérique haute performance dans le domaine des géosciences, avec les acteurs français.

NOVEMBRE

JUIN

Lancement du projet européen CHANCE (coordonné par l'Andra).

Participation à la réunion de lancement du projet européen THERAMIN sur le traitement thermique des déchets radioactifs.

Participation à la réunion de lancement du projet européen BEACON sur le comportement hydromécanique des ouvrages de fermeture à base d'argile gonflante, des stockages profonds.

Signature de l'accord de partenariat de R&D EDF/Andra.

JUILLET

Publication de l'avis de l'IRSN sur les Dossiers d'option de sûreté (DOS) de Cigéo.

DÉCEMBRE

Réalisation du 1 000^e forage dans les galeries du Laboratoire souterrain de recherche de Meuse/Haute-Marne.

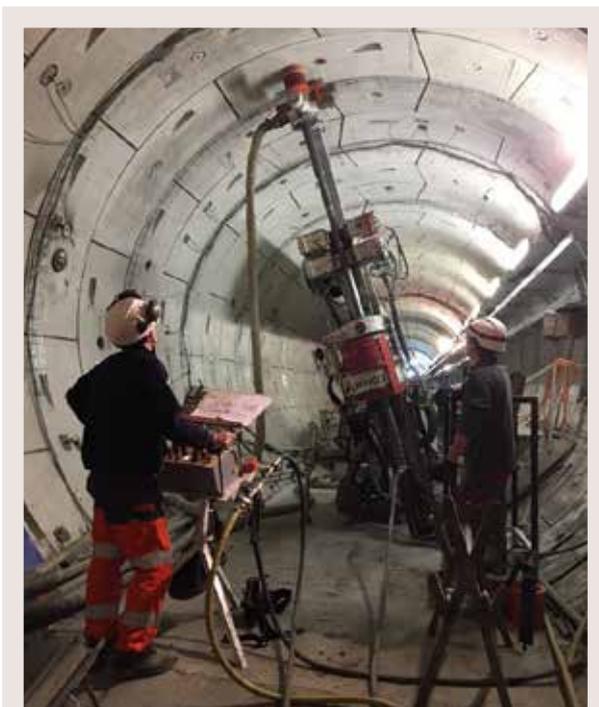
Certification Icos de la station atmosphérique de l'Observatoire pérenne de l'environnement de l'Andra en Meuse/Haute-Marne.
100^e séance du Conseil scientifique de l'Andra.

01

LES ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES AU SERVICE DES PROJETS ET DES ACTIVITÉS OPÉRATIONNELLES DE L'ANDRA

Les activités scientifiques et techniques de l'Andra accompagnent le développement industriel de Cigéo, de l'avant-projet sommaire à l'avant-projet détaillé

2017, une année marquée par l'instruction, par l'IRSN et l'ASN, du Dossier d'options de sûreté (DOS) de Cigéo, et par des travaux de R&D d'importance pour la préparation de la Demande d'autorisation de création (DAC) de Cigéo.



Pose de voussoirs dans la galerie GVA2

LA FAISABILITÉ INDUSTRIELLE DES GALERIES ET DES ALVÉOLES MA-VL

Le creusement de galeries au tunnelier à attaque ponctuelle et la pose de voussoirs pour le soutènement des galeries : démonstrateur au Laboratoire souterrain de recherche de Meuse/Haute-Marne.

“
Témoignages
JEAN-MICHEL
BOSGIRAUD
JAD ZGHONDY

Orientée selon la contrainte horizontale mineure, longue de 120 m avec un diamètre excavé de 6 m environ, la galerie GVA2 est la seconde galerie d'expérimentation du Laboratoire souterrain, après la galerie GRD4, à avoir été creusée au tunnelier à attaque ponctuelle, avec mise en place d'un revêtement en voussoirs (éléments préfabriqués en béton armé posés en anneaux). Commencé tout début janvier 2017, son creusement a été achevé fin novembre 2017.

Cette galerie comporte trois zones dans lesquelles a été mis en place, à l'avancement, un revêtement formé d'anneaux à neuf voussoirs : (I) une première zone de 40 m de long dont le vide annulaire est rempli par injection d'un mortier de bourrage « classique », (II) une deuxième zone de 40 m de long dont le vide annulaire est rempli par injection d'un mortier de bourrage dit « compressible » (mélange de matériau cimentaire et de billes de polystyrène expansé), et (III) une troisième zone de 36 m de long qui permet de tester la mise en place et le comportement des voussoirs compressibles dits VMC (Voussoir monobloc compressible, concept en copropriété de l'Andra et de la société CMC), intégrant une couche compressible (à l'extrados du voussoir) à base d'éléments en forme de « coques » (éléments tubulaires produits à partir de l'argilite excavée du site, cuits au four comme une céramique). Dans cette troisième zone, le vide annulaire est rempli par injection d'un mortier de bourrage « classique ».

L'ouvrage (et le terrain) a été instrumenté avant, pendant et après creusement, de façon à pouvoir suivre le comportement hydromécanique de la roche et du revêtement. Des forages de suivi de la réaction hydromécanique de l'argilite au creusement ont été installés avant le démarrage de l'excavation, à partir des galeries GVA1 et GCS.

À l'avancement du tunnelier, des mesures de convergence des différents constituants de l'ouvrage ont été réalisées : des extensomètres ont été installés dans des forages radiaux ; les voussoirs ont été équipés de capteurs et de cibles (mesures par fils invar) pour le suivi de la convergence du mortier de bourrage et des anneaux de voussoirs. Les instrumentations post-créusement sont prévues en 2018 (forages radiaux pour la mesure de la perméabilité et des pressions interstitielles, et forages de reconnaissance géologique).



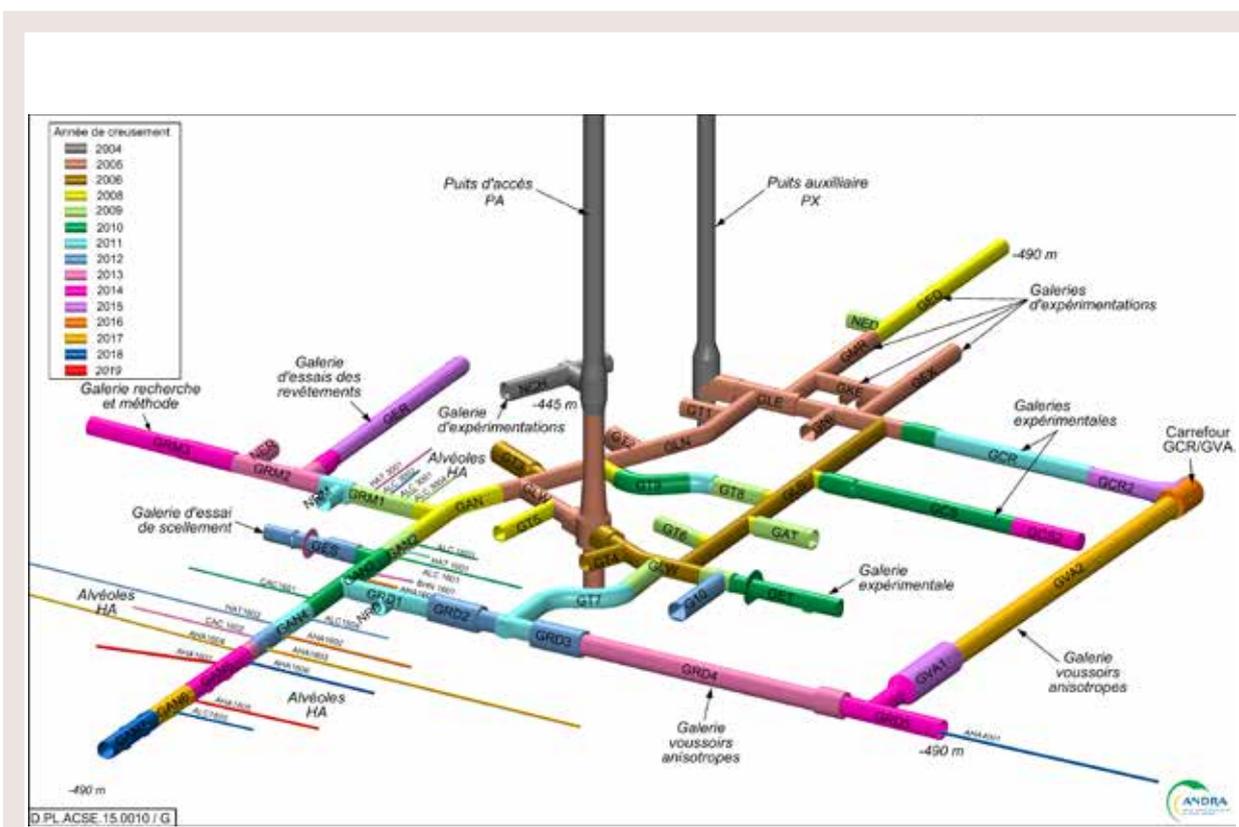
Couche compressible du voussoir monobloc compressible



JEAN-MICHEL BOSGIRAUD

Responsable essais technologiques, direction de l'ingénierie

L'essai de creusement au tunnelier avec pose des voussoirs compressibles du type VMC (et bien sûr l'observation pluriannuelle du comportement des terrains et des voussoirs) mené dans le Laboratoire souterrain, est très important pour le projet Cigéo. D'une part, nous avons prouvé que le creusement au tunnelier dans l'argilite est possible selon l'orientation de la contrainte horizontale mineure et de la contrainte horizontale majeure, d'autre part, nous avons vérifié notre capacité à poser des voussoirs innovants (compressibles), et enfin nous pouvons étudier l'évolution du chargement de la structure du revêtement (des anneaux de voussoirs) dans la durée, et valider l'apport de ces voussoirs pour limiter ce chargement. Cet essai permet de conforter les hypothèses retenues pour optimiser le dimensionnement des ouvrages du stockage géologique.



Laboratoire souterrain - Galeries par année de creusement jusqu'à la fin du chantier 3



JAD ZGHONDI

Ingénieur expérimentations en géomécanique, service mécanique des fluides et des solides, direction de la recherche et développement

L'inter-comparaison du comportement mécanique (chargement des anneaux et comportement contrainte-déformation du Callovo-Oxfordien en champ proche) dans les trois zones de la GVA2 permettra de qualifier et d'estimer l'apport mécanique du voussoir VMC à la limitation du chargement mécanique du revêtement/soutènement dans un ouvrage réel. Des essais sur maquette à l'échelle 1 en cours de préparation à l'IFSTAR sur des anneaux de mêmes dimensions et de mêmes caractéristiques (avec ou sans couche compressible) permettront une simulation expérimentale « accélérée » d'un chargement par la roche d'un anneau complet sur une période séculaire.

Le creusement de la galerie GVA2 a permis, comme attendu, de s'assurer de la faisabilité du creusement au tunnelier de galeries orientées suivant la contrainte mineure (direction de creusement la plus défavorable du point de vue de la construction). La cadence de creusement, de 4 m par semaine (hors arrêt), est la même que pour la galerie GDR4 creusée également au tunnelier.

Les objectifs technologiques concernant la pause des voussoirs VMC ont été atteints : préfabrication en surface, transport et transfert jusqu'au front de taille, et mise en place au tunnelier en souterrain. Ce voussoir et en particulier sa partie compressible, n'ont montré aucun signe de détérioration durant la fabrication, le transport, le stockage, la manutention et la pose. Les seuls dommages (très localisés) observés, ont été causés par un contact imprévu, entre la jupe du tunnelier et l'extrados du voussoir lors du guidage propre du tunnelier, créant ainsi quelques épaufrures.



Vue de la zone 3 de la galerie GVA2 en fin de creusement

Les premières données (variation de pression interstitielle et déformation dans la roche) obtenues lors du creusement sont qualitativement semblables à celles observées lors du creusement de galeries parallèles ; des données complémentaires seront toutefois nécessaires pour mieux caractériser le comportement hydromécanique autour de la galerie GVA2 dans le temps.

DES AVANCÉES TECHNOLOGIQUES ET SCIENTIFIQUES IMPORTANTES SUR LE CREUSEMENT, LE MONITORING ET LA COMPRÉHENSION DU COMPORTEMENT À LONG TERME DES ALVÉOLE HA

La démonstration de la faisabilité du creusement d'alvéole HA de grande longueur

En novembre 2017, un démonstrateur d'alvéole HA (haute activité) d'une longueur de 112,5 m a été creusé au Laboratoire souterrain. Pour la première fois, le cap des 100 m de longueur a été franchi.

“
Témoignages
FRÉDÉRIC
BUMBIELER
PIERRE ROBIN



Vue interne du démonstrateur d'alvéole AHA1604 après le retrait de la foreuse et avant la mise en place du chemisage (roche à nue)

Comme les alvéoles de la campagne expérimentale dite AHA commencée en 2016, ce nouvel alvéole a été creusé par micro-tunnelier puis chemisé, avant injection depuis le fond de l'alvéole, d'un coulis cimentaire entre l'extrados du chemisage et la roche.

Cet alvéole a été réalisé en 10 jours, en continu, avec une vitesse de creusement moyenne de 1,4 m/h. Le volume de coulis injecté (30 m³) est du même ordre de grandeur que le vide théorique à remplir.

Pour cette expérimentation, le chemisage de l'alvéole a été équipé, sur sa face externe, de fibres optiques sur une longueur d'environ 15 m à partir de la galerie d'accès (cf. « Les dispositifs de monitoring pour suivre le fonctionnement de Cigéo »). Ce dispositif de mesure, envisagé pour l'observation et la surveillance des ouvrages dans Cigéo, permet de suivre en continu l'évolution de la température et de la déformation du chemisage, aussi bien dans la direction axiale que circonférentielle. Aucun endommagement des fibres ne s'est produit lors du fonçage, ce qui permet d'envisager



FRÉDÉRIC
BUMBIELER

Ingénieur structure, service mécanique des fluides et des solides, direction de la recherche et développement

Les différentes campagnes de creusement de démonstrateurs d'alvéole HA menées au Laboratoire souterrain depuis 2009 ont permis, par un processus d'apprentissage progressif et d'optimisation constant, d'aboutir en 2017, à la démonstration de la faisabilité technique de creusement d'un micro-tunnel borgne d'au moins 110 m de longueur avec maîtrise de la trajectoire et de la mise en place d'un chemisage en acier. Un ensemble d'éléments probants a également été acquis quant à la faisabilité de remplissage de l'espace entre l'extrados du chemisage et la roche par un matériau cimentaire, même si des optimisations sont encore envisageables, notamment pour l'homogénéité circonférentielle du remplissage.

L'instrumentation systématique de tous les alvéoles de la nouvelle campagne expérimentale de démonstrateurs d'alvéole HA, démarrée en 2016, a permis de confirmer le domaine de fonctionnement mécanique du chemisage à court terme. Celui-ci est rapidement soumis à un chargement mécanique anisotrope par la roche, qui va générer, de fait, son ovalisation, dans des proportions qui sont compatibles avec le maintien des jeux de manutention des colis de stockage, notamment sur une durée séculaire.



PIERRE ROBIN

Expert forage, direction de l'ingénierie

Les démonstrateurs d'alvéole HA creusés en 2017 avec la même technologie innovante qu'en 2016, n'ont pas présenté d'aléa technique particulier, tant en creusement qu'en fonçage des chemises et en injection du matériau cimentaire entre l'extrados du chemisage et la roche. Les trajectoires sont suffisamment rectilignes et les hors-profilés sont maîtrisables et « raisonnables ». Le nettoyage des écailles et des fines d'argile qui sont suspectées de filtrer le matériau cimentaire au moment de son injection, peut être envisagé, ainsi que le centrage du chemisage afin de garantir de manière plus robuste encore, une épaisseur suffisante de matériau cimentaire autour du chemisage.

la mise en place de ce type d'instrumentation non intrusive sur de plus grandes longueurs lors des expérimentations futures.

Par ailleurs, sept sections de mesure de convergence du chemisage ont aussi été mises en place, à des distances réparties entre quatre et 60 m à partir de la galerie d'accès. Ces mesures, également réalisées sur tous les alvéoles antérieurs de la campagne AHA, permettront de consolider la connaissance du processus de mise en charge mécanique du chemisage par la roche.



Section de mesure de convergence du chemisage installée à une distance d'environ 30 m de la galerie d'accès dans le démonstrateur d'alvéole AHA1604

Les dispositifs de monitoring pour suivre le fonctionnement de Cigéo

Plusieurs essais ont été réalisés dans le Laboratoire souterrain, pour la qualification de moyens de mesure envisagés pour le suivi des alvéoles HA.

Dans le cadre de l'expérimentation AHA (Auscultation des alvéoles HA), les chemisages de démonstrateurs d'alvéole HA ont été équipés de fibres optiques permettant de fournir des mesures réparties de déformation et de température du chemisage. Un premier essai de mise en place a été réalisé avec succès en novembre 2017, lors du creusement de l'alvéole de 111,2 m (cf. « La démonstration de la faisabilité du creusement d'alvéole HA de grande longueur »). Lors de cet essai, le chemisage a été équipé de plusieurs fibres optiques, sur une longueur d'environ 15 m à partir de la galerie d'accès. Ces fibres optiques sont placées sur la face externe du chemisage, longitudinalement sur trois génératrices, mais également sous forme d'hélice afin de fournir une image 3D de l'évolution thermique et mécanique du chemisage. Toutes les fibres optiques ainsi mises en place se sont avérées fonctionnelles après l'injection du matériau cimentaire entre l'extrados du chemisage et la roche. Ainsi les premières mesures de température et de déformations du chemisage obtenues, sont conformes aux attentes. Il restera en 2018 puis 2019, à mettre en place ces mêmes types de fibres optiques sur de plus grandes longueurs (jusqu'aux 100 m de longueur d'un alvéole), et à évaluer la capacité à séparer les effets thermiques et les effets mécaniques, dans un démonstrateur d'alvéole HA équipé de sondes chauffantes pour simuler le dégagement de chaleur des colis de déchets HA.

“
Témoignages
RADWAN
FARHOUD
SYLVIE
LESOILLE



**RADWAN
FARHOUD**

Ingénieur en instrumentation, service coordination opérationnelle-caractérisation-chaîne de données, direction de la recherche et développement

Le programme d'observation-surveillance des futurs alvéoles de stockage dans Cigéo vise à fournir les données nécessaires au suivi du bon comportement des composants tels que les alvéoles de déchets de haute activité (HA). Pour ces alvéoles, qui sont des micro-tunnels horizontaux équipés de tubes en acier (chemisage), une des difficultés identifiées est la mise en place d'une instrumentation capable de fournir des informations quant aux jeux de manutention à l'intrados du chemisage, pour permettre la mise en place et le retrait éventuel (récupérabilité) des colis de déchets. La solution envisagée et testée combine deux technologies de mesure, l'une éprouvée, les cannes de convergence, et l'autre innovante, des câbles équipés de fibres optiques mis en place à l'extrados du chemisage. Ces fibres optiques sont capables de fournir les déformations et les températures du chemisage en tous points (mesures réparties). Les données brutes obtenues sont traitées grâce aux essais préalables afin de quantifier les variations du diamètre du chemisage, soumis au chargement par la roche.

La fibre optique, reliant la zone de mesure à l'instrument d'interrogation déporté, doit comporter un minimum de connexions, pour une qualité optimale de la mesure, ce qui a nécessité d'adapter la conception, et la localisation des câbles. En effet, pour optimiser les coûts, les câbles à fibre optique sensible sont placés dans le chemisage, et regroupés ensuite en galerie dans un câble à fibre optique classique pour les relier à l'instrument placé à plusieurs centaines de mètres.

Une des difficultés de cette mise en œuvre est liée au mode de pose du chemisage, composé de tubes de 2 m de long chacun, assemblés (mâle/femelle) par emboîtement. Les frottements possibles du chemisage en parois du trou lors du fonçage (la poussée du train de chemises) et la chute d'écaillés de roche potentielle (*break out*) constituent également une difficulté.

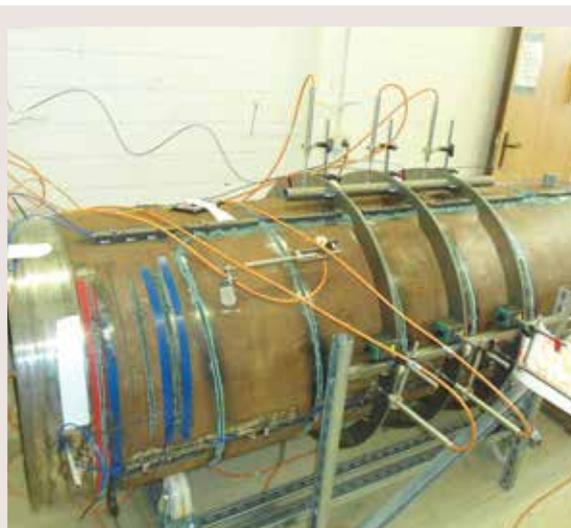
Afin de surmonter ces difficultés, les essais comportent une validation graduelle du système. En effet, d'une part les longueurs des fibres installées augmentent à chaque nouvelle instrumentation d'alvéole, et d'autre part, les dispositions des fibres sont de plus en plus complexes ou optimisées. Cela se traduit par des modifications de la conception de l'instrumentation ou des procédures de mise en œuvre permettant de minimiser le temps d'intervention et/ou les coûts, d'améliorer la qualité des mesures, tout en garantissant une sécurité maximale et en optimisant la durée de vie des capteurs.

En novembre 2017, un démonstrateur d'alvéole HA de plus de 100 m de long a été creusé au Laboratoire souterrain de recherche de Meuse/Haute-Marne et son chemisage équipé de fibres optiques, avec succès, sur une quinzaine de mètres.

Cet essai au Laboratoire souterrain a fait suite à plusieurs essais menés au jour en environnement parfaitement contrôlé, pour valider le type de fibres optiques à utiliser, la position des fibres sur le chemisage, la méthode de pose de ces fibres sur le chemisage en lien avec le choix des paramètres de mesure (choix des colles, systèmes de capots de protection, choix des rétrodiffusions Rayleigh ou Brillouin dans la fibre optique pour obtenir des mesures réparties de déformation de qualité, etc.). Ces essais comportaient également des tests de chargement mécanique du chemisage pour discriminer les paramètres propres aux fibres des grandeurs physiques, à partir des mesures brutes. En particulier, pour la fibre placée en forme d'hélice autour du chemisage, l'objectif est de transformer des mesures de déformation orthoradiale en une mesure de convergence. La méthode doit permettre de fournir l'évolution des diamètres du chemisage avec une sensibilité de l'ordre du millimètre.



L'installation de la fibre optique sur le chemisage



Chemise d'un alvéole HA instrumentée par fibre optique en spirale pour la réalisation des essais de qualification en laboratoire jour



Ingénieur en instrumentation, service coordination opérationnelle-caractérisation-chaine de données, direction de la recherche et développement

Les essais au Laboratoire souterrain sont une étape essentielle du processus de qualification des chaînes de mesure envisagées pour la surveillance de Cigéo. Ils permettent de vérifier la tenue des dispositifs de mesure lors de leur mise en œuvre dans les conditions de chantier souterrain particulières de Cigéo, de tester les interfaces avec les systèmes d'acquisition des capteurs,

d'évaluer la qualité de la méthode de traitement de mesure dans un environnement variable dans l'espace, comme le chargement des tronçons de chemisage par la roche.

La réalisation d'un démonstrateur d'alvéole HA instrumenté par fibres optiques au Laboratoire souterrain de recherche est l'aboutissement de plusieurs années d'études menées sur les capteurs à fibre optique : l'Andra et ses partenaires de recherche et développement, ont évalué les meilleurs processus de mesure (rétrodiffusion Brillouin *versus* Rayleigh, configuration bouclée *versus* ligne optique ouverte, etc.), les propriétés de transfert du champ de contrainte du milieu à caractériser vers le cœur de la fibre optique où s'effectue la mesure, mais également la durabilité des fibres dans l'environnement d'un alvéole HA. Avec ce démonstrateur, nous confortons l'intérêt et l'adéquation des systèmes de mesures réparties de température et de déformations par fibre optique, aux spécificités de Cigéo.



Chemise équipée d'une fibre optique spiralée au moment de la mise en place dans le démonstrateur d'alvéole HA au Laboratoire souterrain

«
Témoignages
BENOIT
COCHÉPIN
NICOLAS
MICHAU

La détermination de l'évolution chimique d'un alvéole HA en présence du matériau cimentaire entre l'extrados du chemisage et la roche

Le matériau de remplissage, injecté à l'extrados du chemisage de l'alvéole HA a pour fonction de neutraliser l'acidité provenant des argilites oxydées lors du creusement. Plusieurs évaluations de la capacité de ce matériau à assurer cette fonction ont été conduites par simulation numérique en 2017, sur la base des données expérimentales, et compte tenu des progrès en termes de capacité, des codes de calcul en chimie-transport.

Les outils numériques permettent ainsi d'évaluer l'évolution chimique et minéralogique de ce matériau, en tenant compte de l'augmentation transitoire de la température sur les propriétés physico-chimiques des matériaux et des conséquences induites par les transformations minéralogiques sur les propriétés de diffusion d'espèces dissoutes (colmatage ou ouverture de la porosité). L'arrivée d'eau à l'intérieur du chemisage au niveau des jonctions entre les tronçons de chemisage, est modélisée de manière simplifiée, afin de représenter *a minima* l'influence

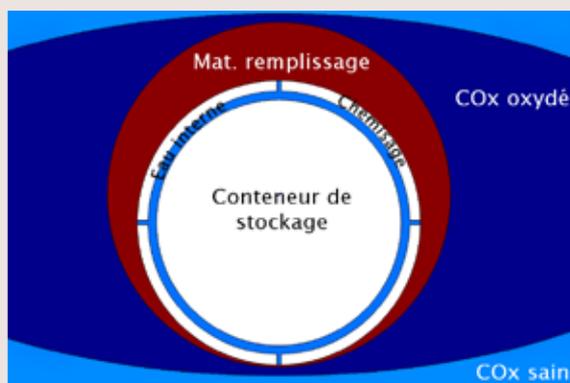
du matériau de remplissage sur la composition de l'eau au sein de l'alvéole.

Parmi les hypothèses retenues pour évaluer le comportement chimique du matériau de remplissage, il a été considéré (i) une oxydation de la moitié des pyrites présentes dans la zone fracturée connectée des argilites, et (ii) une épaisseur de 5 mm de matériau de remplissage injecté sous le chemisage (zone la plus fine).

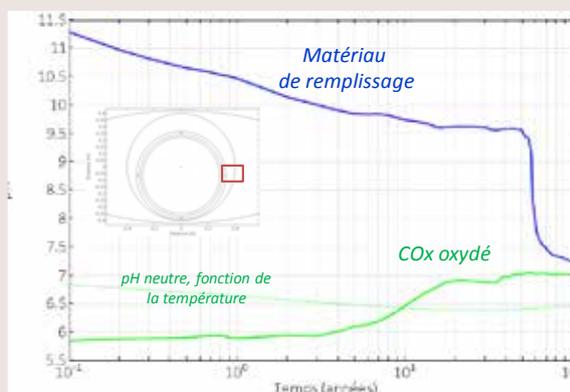
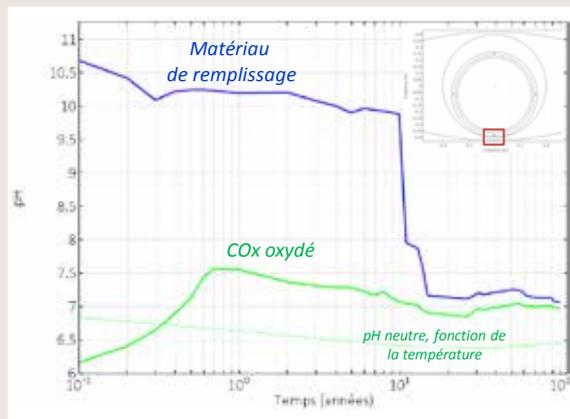
Sous ces hypothèses, le matériau de remplissage, avec la formulation étudiée par l'Andra, permet le maintien au cours du temps d'un pH basique ou neutre lors de l'attaque acide provenant du Callovo-Oxfordien oxydé, en particulier sous le chemisage où l'épaisseur de matériau injecté pourrait être la plus faible, et dans le plan médian où l'épaisseur de Callovo-Oxfordien oxydé serait la plus forte.

Enfin, des calculs ont également été réalisés pour s'assurer que la valeur du pH de l'eau au contact du conteneur de stockage au moment de sa rupture, ne provoquerait pas une accélération

de la dissolution du verre. En supposant que l'alvéole est saturé en eau à chaque instant, et que la corrosion des composants métalliques, qui n'est pas simulée, n'a qu'un impact secondaire sur la valeur du pH, les calculs montrent que le pH de l'eau au contact du conteneur de stockage est progressivement neutralisé de manière radiale et n'a pas d'effet sur la vitesse de dissolution du verre.



Représentation schématique de la coupe transversale d'un alvéole HA utilisée dans la simulation numérique de l'évolution chimique d'un alvéole HA.



Exemples d'évolution du pH au cours des 100 premières années au contact du chemisage dans le matériau de remplissage (trait bleu) et à la paroi du Callovo-Oxfordien (COx) oxydé adjacente (trait vert), sous le chemisage et dans le plan médian



BENOÎT
COCHEVIN

Ingénieur analyse de performance, service évaluation et analyse de performance, direction de la recherche et développement

Les simulations numériques de l'évolution chimique d'un alvéole HA sont réalisées à l'Andra en veillant à conserver la complexité physico-chimique des différents composants grâce à l'exploitation de codes de calcul en chimie-transport de haut niveau. Les résultats acquis jusqu'alors ont permis de vérifier l'atteinte des performances attendues, mais aussi de contribuer à orienter encore mieux l'optimisation des dispositions de conception d'un alvéole HA. Des développements numériques sont en cours et ils devraient permettre, à court terme, d'améliorer plus encore le niveau de représentation des couplages entre les différents phénomènes chimiques et physiques, et de diminuer les temps de calcul des simulations.



NICOLAS
MICHAU

Ingénieur interactions physico-chimiques entre matériaux, service colis et matériaux, direction de la recherche et développement

Fin 2014, une première formulation de base du matériau cimentaire envisagé entre l'extrados du chemisage d'un alvéole HA et la roche a été mise au point, notamment sans recours à des adjuvants organiques. Le choix de la formulation et l'épaisseur du matériau visent à sa durabilité chimique sur quelques centaines à quelques milliers d'années au plus, afin de permettre un retour aux conditions chimiques du Callovo-Oxfordien. Il concentre le savoir-faire de l'Agence en termes de matériaux argileux, de matériaux cimentaires et d'interactions entre les deux. Ce travail a permis, en quelques mois, de formuler le matériau, de le breveter et de s'approvisionner en constituants nécessaires à sa mise en œuvre à l'échelle des démonstrateurs d'alvéoles au Laboratoire souterrain. Simultanément, un premier modèle chimique réactionnel et des simulations numériques ont apporté des éléments de dimensionnement et de comportement chimique dans le temps. Dans la foulée, un programme d'études a été lancé afin de compléter, à l'horizon de la DAC et de son instruction, les connaissances sur le comportement de ce matériau. Aujourd'hui, ce programme se décline en travaux en laboratoire « jour » (thèses, travaux post-doctoraux), en essais au Laboratoire souterrain et en simulations numériques.



AURÉLIE
VILLENEUVE

Ingénieur en environnement, service Observatoire pérenne de l'environnement, direction de la recherche et développement

L'OPE a été inauguré il y a 10 ans maintenant. Dix ans de données acquises sur tous les compartiments de l'environnement (eau, sol, air, faune, flore) par des systèmes de monitoring robustes et fiables. Avec cette masse de données, il était nécessaire de disposer d'un système de gestion de la donnée efficace et en assurance qualité. Une base de données (Geosciences_OPE) permettant non seulement l'archivage des données brutes mais également de toutes les métadonnées associées, a été développée par l'Andra, conditions nécessaires à une bonne utilisation et réutilisation postérieure des données. Au-delà du simple stockage, notre volonté est également de développer des outils et méthodes permettant une analyse fiable et reproductible de toutes ces données et informations afin de partager facilement les connaissances acquises sur le territoire autour de Cigéo. Cet outil est accessible à l'adresse suivante <http://arkose/OPE/>.

constituent un patrimoine scientifique remarquable qui doit être documenté, préservé, sécurisé mais également valorisé, partagé et réutilisé. Afin de pouvoir améliorer l'intégrité, la pérennité et l'accessibilité des données environnementales acquises notamment par l'OPE, une nouvelle base de données a été créée : Geosciences_OPE.

Geosciences_OPE est relative à tous les compartiments environnementaux observés dans le cadre de l'OPE (faune, flore, air, eaux, etc.). Ces données sont systématiquement assorties d'un géoréférencement précis et de métadonnées complètes qui concernent entre autres leurs conditions d'acquisitions et de validation.

Toutes ces données et informations sont validées puis archivées dans Geosciences_OPE. La plateforme web (<http://arkose/OPE/>) permet ensuite d'accéder à plusieurs fonctionnalités :

- intégrer des données à l'aide de fichiers Excel au format prédéfini ;
- connaître les données disponibles à partir d'un moteur de recherche qui donne accès à des fiches de métadonnées pour chaque étude réalisée ;
- rechercher et visualiser ces données à partir d'une interface de consultation textuelle ou cartographique en ligne ;
- accéder aux données brutes par téléchargement.

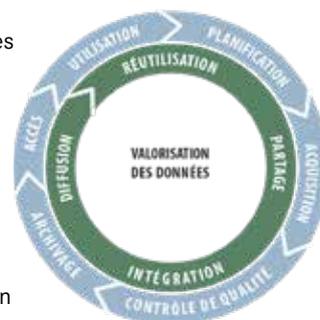


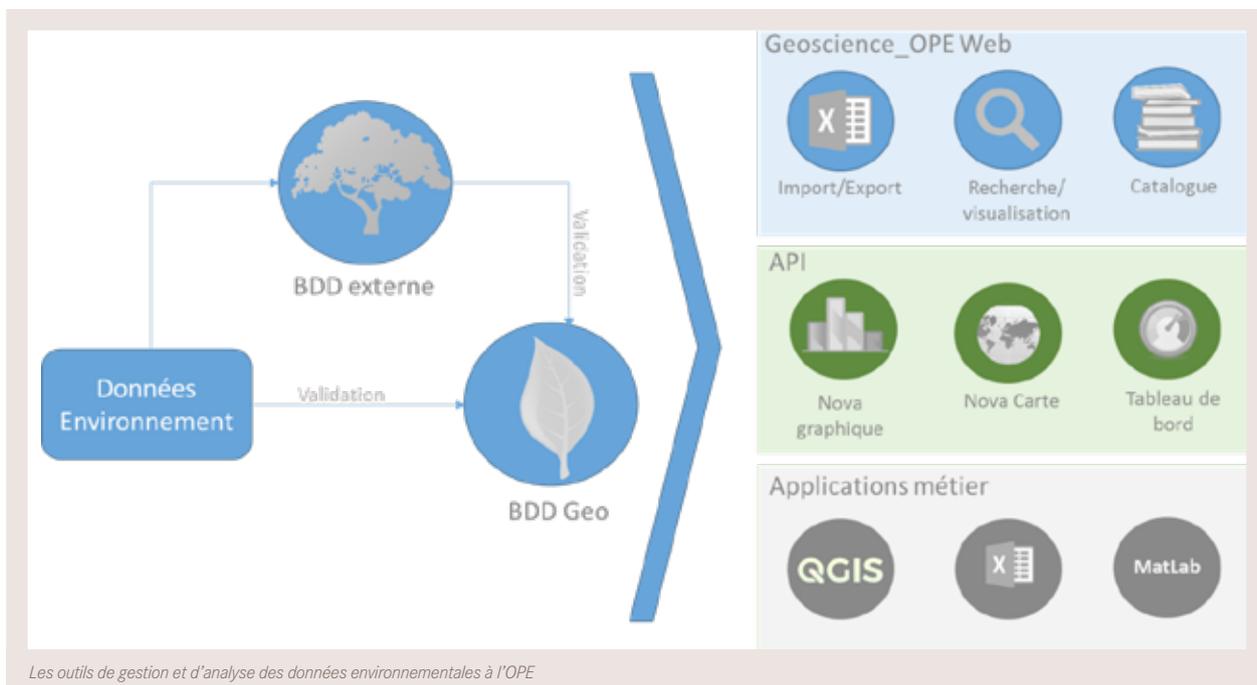
Illustration du cycle de vie d'une donnée

“ **La gestion des données « environnementales » acquises à l'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE)**

Témoignage
AURÉLIE
VILLENEUVE

Une quantité importante et variées de données sur l'environnement (air, eau, sols, biodiversité, etc.) est collectée régulièrement par l'Andra dans le cadre de l'Observatoire pérenne de l'environnement, dispositif unique mis en place par l'Andra sur une vaste zone autour des futures installations de surface de Cigéo et intégré dans de nombreux réseaux de recherche scientifique nationaux et internationaux. Ces données

L'Andra assure le développement de méthodes et d'outils éprouvés et bien établis dans la communauté scientifique, afin de traiter ces données environnementales, d'en assurer la traçabilité et de permettre la reproductibilité des traitements (API, *note book*, tableaux de bord, etc.).



Les outils de gestion et d'analyse des données environnementales à l'OPE

LE LABORATOIRE SOUTERRAIN DE RECHERCHE DU CENTRE DE MEUSE/Haute-MARNE : UN INSTRUMENT SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE EN SUPPORT AU DÉVELOPPEMENT PROGRESSIF DE CIGÉO

Dans le cadre de la loi de 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs et, après décision du Gouvernement français, l'Andra démarre en 2000 la construction d'un laboratoire souterrain en Meuse/Haute-Marne afin d'y mener des études et des essais *in situ*. En complément d'autres moyens (travaux de reconnaissance complémentaires, forages, investigations par sismique réflexion, essais et analyses sur échantillons, simulation numérique, etc.), le Laboratoire souterrain est un moyen exceptionnel privilégié pour :

- confirmer les caractéristiques de base du Callovo-Oxfordien, en particulier sa capacité de confinement des radionucléides et de constructibilité d'ouvrages souterrains ;
- évaluer les perturbations induites par le stockage sur le Callovo-Oxfordien (nature, intensité, extension spatiale) ;
- évaluer la durabilité des composants ouvrages/matériaux du stockage (béton, aciers, verre, etc.) en interaction avec le Callovo-Oxfordien (mécanismes/processus, intensité, extension spatiale et temporelle) ;
- tester des dispositifs de monitoring pour contribuer à la définition du programme de surveillance de Cigéo ;
- évaluer les modalités de construction et de fermeture des ouvrages souterrains de manière intégrées et à échelles représentatives.

LES DATES CLÉS DU LABORATOIRE SOUTERRAIN

Décembre 1998

Décision du Gouvernement de retenir le site de Meuse/Haute-Marne pour accueillir un laboratoire souterrain.

Août 1999

Décret d'autorisation du Laboratoire souterrain de recherche de Meuse/Haute-Marne.

Octobre 2004

Arrivée du puits auxiliaire (PA) à -490 m.

Novembre 2004

Mise en service de la galerie expérimentale à -445 m dans le PA.

Depuis février 2005

Creusement, déploiement et exploitation des galeries expérimentales à -490 m.

2009

Première campagne de forage de démonstrateur d'alvéole HA (jusqu'à 20 m de longueur).

Avril 2011

Kilomètre franchi pour la longueur cumulée de galeries au Laboratoire souterrain.

Décembre 2011

L'exploitation du Laboratoire souterrain est autorisée jusqu'au 31 décembre 2030 par décret du 22 décembre 2011.

Février 2013

Livraison du tunnelier à attaque ponctuelle de 15,3 m de long pour un diamètre de 6,27 m et une masse de 183 t.

Novembre 2013

Creusement sur 75 m de la galerie GRD creusée à l'aide d'un tunnelier à attaque ponctuelle et pose de revêtement circulaire à l'aide de voussoirs préfabriqués en béton armé.

Avril 2014

100 000^e visiteur au Centre de Meuse/Haute-Marne.

Novembre 2016

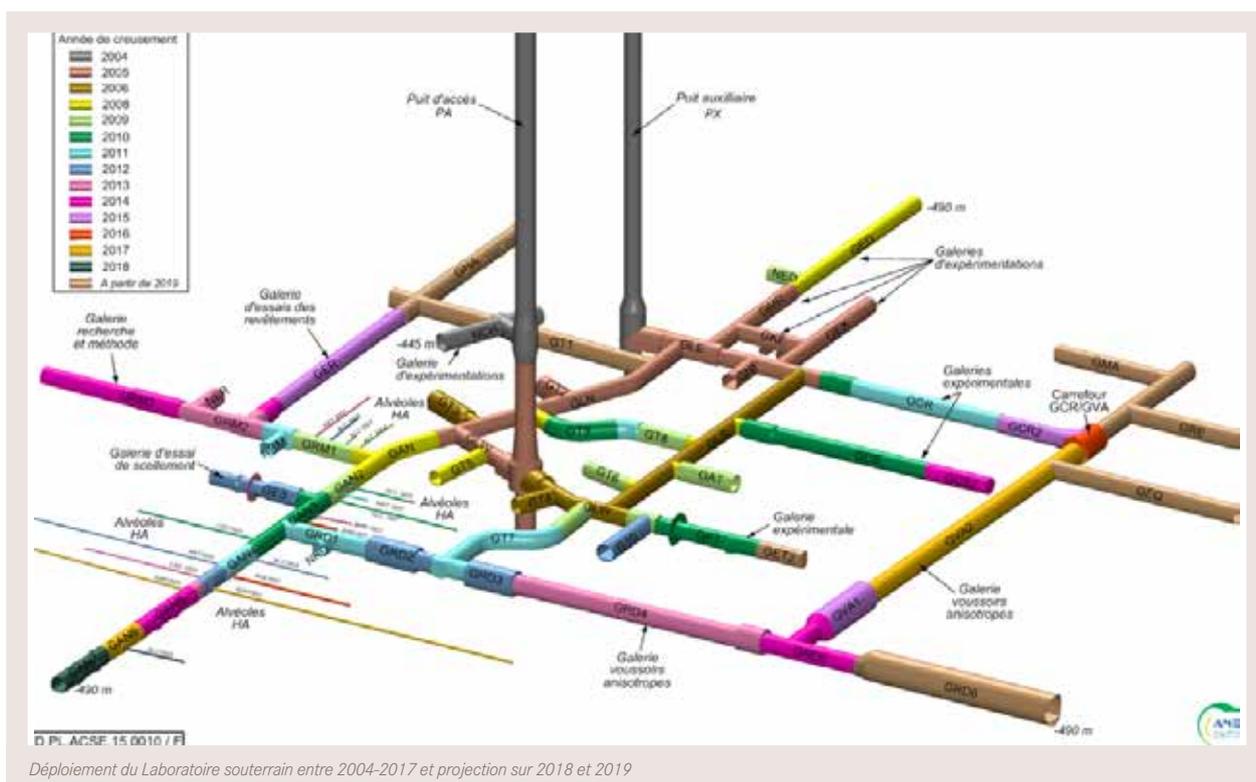
Réalisation du premier démonstrateur d'alvéole HA avec injection d'un matériau de remplissage dans l'espace entre la roche et l'extérieur du chemisage métallique.

Novembre 2017

• **Longueur maximale atteinte pour un alvéole HA. Le cap des 100 m de longueur a été franchi ;**
• **réalisation de la seconde galerie réalisée par un tunnelier avec mise en place d'un revêtement en voussoirs sur 120 m de longueur.**

Décembre 2017

1 000^e forage dans les galeries du Laboratoire souterrain lors d'une nouvelle campagne de travaux.



Depuis plus de 15 ans, le Laboratoire souterrain a accompagné le projet de stockage géologique profond et ses grandes étapes pour répondre aux besoins de conception et d'évaluation de sûreté. Les résultats obtenus ont nourri les différents dossiers du projet au fur et à mesure de son développement (Dossier 2005 sur la faisabilité du stockage, Dossier 2009 de proposition de choix de la zone d'implantation des installations fond et de surface sur la zone de transposition, etc.).

Les activités du Laboratoire souterrain de l'Andra se sont déployées progressivement sur un large spectre de domaines scientifiques et technologiques et de disciplines (hydraulique, mécanique, thermique, chimie, etc.), pour répondre aux étapes successives du développement du projet Cigéo :

1^{RE} ÉTAPE 2000-2005

OBJECTIF

DÉMONTRER LA FAISABILITÉ DE PRINCIPE D'UN STOCKAGE DE DÉCHETS RADIOACTIFS EN FORMATION GÉOLOGIQUE PROFONDE (DOSSIER 2005 « HAVL ARGILE »)

- Propriétés de confinement de la roche
- Endommagement de la roche avec le creusement des ouvrages et le concept de scellement
- Comportement de la roche suite à un échauffement

2^{DE} ÉTAPE

OBJECTIF

CONCEVOIR LE CENTRE INDUSTRIEL DE STOCKAGE GÉOLOGIQUE CIGÉO EN SUPPORT AU DOSSIER DE DAC

2006-2012 : VERS LA PHASE ESQUISSE DE CIGÉO

Consolidation des propriétés physico-chimiques (péto-physiques, thermiques, hydrauliques, hydro-dispersives et mécaniques)

2012-2019 : VERS LA PHASE APS¹ PUIS APD² DE CIGÉO

- Caractérisation de la roche sur des temps longs
- Interaction entre la roche et les matériaux du stockage
- Technologies de construction des ouvrages de stockage
- Moyens techniques de surveillance du stockage (capteurs, etc.)

55

expérimentations
en cours en 2017

1. Avant-projet sommaire.
2. Avant-projet détaillé.

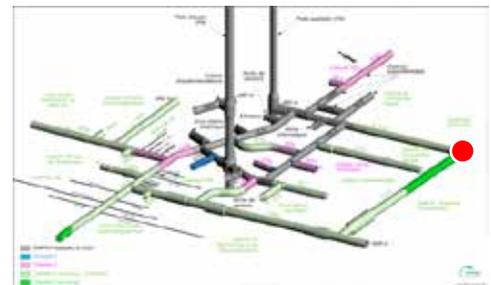
FOCUS 2017 SUR LES TRAVAUX DE CREUSEMENT RÉALISÉS ET LES EXPÉRIMENTATIONS AYANT FAIT L'OBJET D'AVANCÉES NOTABLES

Les travaux de creusement

Creusement de la galerie GVA2
(cf. « Le creusement de galeries
au tunnelier à attaque ponctuelle
et la pose de voussoirs pour le
soutènement des galeries », page 8)



Creusement du carrefour
GVA/GCR (chambre de démontage
du tunnelier)



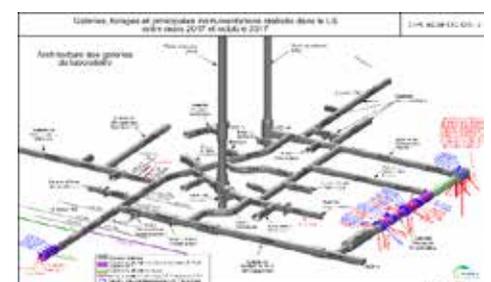
Creusement de la galerie GAN6



Creusement de deux démonstrateurs
d'alvéole HA : AHA1603 et AHA1604
(cf. « La démonstration de la
faisabilité du creusement d'alvéole
HA de grande longueur », page 10)



Réalisation de 82 forages dans les
galeries du laboratoire pour une
longueur cumulée de 1062 m



Les expérimentations

TPV (Tunnelier pose de voussoirs) en GVA2

- Levés géologiques
- Mesures de convergence
- Forage hydrogéologique pour *mine by test*
- Suivi d'écrasement du mortier et des coques compressibles
 - etc.



OHZ (Observation et suivi de l'EDZ) dans le carrefour GVA/GCR

- Suivi géologique
- Mesure de convergences
- Suivi d'écrasement des cales compressibles
- Forages géologiques
 - etc.



OHZ (Observation et suivi de l'EDZ) en GAN6

- Suivi géologique
- Mesure de convergences
 - etc.



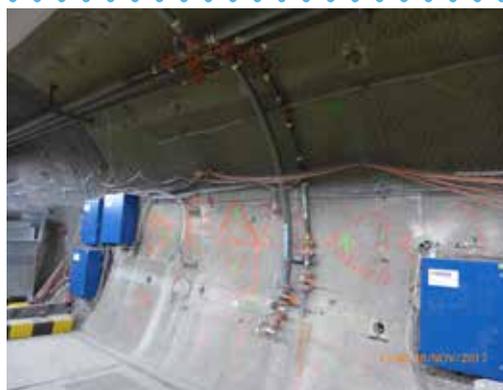
AHA (Auscultation alvéoles HA)

- Réalisation de scans 3D
- Mesure d'ovalisation
- Installation de fibres optiques longitudinales et circulaires à l'extrados du chemisage
- Installation de ligne de prélèvement de gaz
- Réalisation de deux forages pour tester des capteurs acoustiques et électrique
- Mesure de gaz dans les alvéoles
 - etc.



CRQ (Comportement THM représentatif d'un quartier HA) en GCS

- Réalisation de forages pour la mise en place de complétions hydrogéologiques



ALC (Alvéole chauffant)

- Réalisation autour du futur alvéole ALC1605 (chauffant) de forages hydrogéologiques pour le suivi des pressions interstitielles



Projet FA-VL : 2017, une année de consolidation des connaissances acquises pour répondre aux enjeux identifiés lors de l'instruction du rapport d'étape remis au Gouvernement en 2015

“ **LA CONSOLIDATION DES DONNÉES ACQUISES SUR LE MILIEU GÉOLOGIQUE DEPUIS 2013**

Témoignage
MICHEL
HAYET

Pour consolider les connaissances et les données acquises depuis 2013, sur les caractéristiques et l'évolution du milieu géologique et hydrogéologique d'une zone située principalement sur les communes de Juzanvigny, Épothémont et Crespy-le-Neuf, dans l'Aube, une campagne d'investigation géologique a été réalisée entre juin et août 2017.

Cette zone d'environ 10 km² a été définie à l'issue des campagnes d'investigations réalisées entre 2013 et 2015, et a été proposée par l'Andra dans le rapport d'étape du projet publié en 2015, pour l'implantation éventuelle d'un nouveau centre de stockage pour des déchets TFA et FA-VL.

Cette campagne d'investigation comporte trois phases :

- de fin juin à fin août, une campagne de géophysique légère (environ 25 km de profils sismiques multi-méthodes doublés de panneaux électriques sur environ 10 km) a permis de vérifier l'homogénéité de la formation hôte des argiles tégulines et l'absence d'hétérogénéités structurales et sédimentaires ;
- de mi-octobre à début novembre, une campagne de caractérisation par tranchées exploratoires des formations superficielles et des premiers mètres de la zone altérée des argiles tégulines, a permis d'identifier et de préciser la nature et la répartition relative entre ces formations superficielles et les argiles tégulines altérées. Les observations de terrain suggèrent aussi l'occurrence de nappes phréatiques à la fois dans les formations superficielles et la zone altérée des argiles tégulines, et ce sur les collines, leurs versants et les fonds de vallées. Cette campagne a également permis d'actualiser et d'étendre la cartographie des sols, de caractériser leur pédogenèse et d'apporter des premiers éléments d'observations à la caractérisation des zones humides (volet environnement) ;
- fin novembre, une campagne de forages carottés (d'environ 80 m), a été menée afin de consolider le modèle géométrique local et plus particulièrement l'épaisseur des argiles tégulines, et de pouvoir disposer d'échantillons pour mesurer les propriétés de la formation et des argiles remaniées. Trois autres forages sont prévus au printemps 2018.



MICHEL
HAYET

Ingénieur géophysicien service coordination opérationnelle, caractérisation et chaînes de données direction de la recherche et développement

L'acquisition sismique, opérée par Fugro Geoconsulting, s'est déroulée pendant l'été 2017 et portait sur environ 25 km de profils sismiques à très haute résolution (5 m entre points récepteurs et 10 m entre points d'émission sur 8 km ; 3 m entre points récepteurs et 6 m entre points d'émission sur 17 km). Une innovation a été l'enregistrement, en un seul passage, de trois méthodes sismiques : réfraction, réflexion et ondes de surfaces. Pour cela, Fugro Geoconsulting a utilisé un laboratoire d'acquisition Sercel 428, largement utilisé en exploration pétrolière, ainsi qu'un parc de 300 capteurs DSU3 qui ne sont pas des géophones analogiques classiques (constitués d'un aimant cylindrique entouré d'une bobine de conducteur), mais qui sont des capteurs basés sur la technologie MEMS (*Micro-machined Electro-Mechanical Sensor*), caractérisés par une faible distorsion, une basse consommation d'énergie et une réponse indépendante du « tilt » (déviations de l'axe de la pointe par rapport à la verticale). Un autre intérêt de ce capteur est l'extrême largeur de sa bande passante : 0-800 Hz, ce qui permet de récupérer les ondes sismiques telluriques, les ondes P, les ondes S et les ondes de surfaces (Love et Rayleigh) en une seule acquisition. Enfin, la masse légère de ce capteur (430 g) facilite sa manutention. Ce capteur est par ailleurs opérationnel entre -40 °C et 70 °C.

La qualité des données obtenues est excellente, les données d'ondes de surface et de réfraction sont déjà traitées ; les carottages sismiques permettront de caler les profils. Le traitement des données de la sismique réflexion, processus nécessitant une succession d'étapes avec de nombreuses itérations, devrait aboutir en 2018.

Centres de surface : 2017, une année importante pour les réexamens de sûreté [le Centre de stockage de l'Aube (CSA) en 2016 et le Centre de stockage de la Manche (CSM) en 2019]

“ **LE TRANSPORT DE L'EAU TRITIÉE AU TRAVERS DE BARRIÈRES EN MATÉRIAUX CIMENTERES PARTIELLEMENT SATURÉS EN EAU**

Témoignage
SÉBASTIEN
SAVOYE

Les évaluations de sûreté du CSA passent notamment par une bonne compréhension du phénomène de relâchement diffus du tritium, l'un des radioéléments contenus dans certains colis stockés au CSA. Le tritium a pour particularité d'exister sous

différentes formes chimiques : l'eau tritiée (HTO) et le tritium gazeux (HT). L'évaluation des rejets diffus en tritium depuis les ouvrages du CSA nécessite de comprendre et de représenter la migration de ces deux formes chimiques dans les matériaux cimentaires constitutifs de ces ouvrages. L'un des objectifs scientifiques à atteindre est la prise en compte de la non-saturation en eau de ces matériaux.

Dans cet objectif, l'Andra travaille avec le CEA sur la caractérisation précise du transfert de l'eau tritiée (HTO) au sein des matériaux cimentaires partiellement saturés en eau. L'objectif visé est l'élaboration d'un modèle macroscopique d'évolution du coefficient de diffusion effectif D_e (HTO) en fonction de la saturation en eau, ce modèle devant être calé sur des données expérimentales robustes.

Dans ces conditions partiellement saturées, l'eau tritiée peut migrer à la fois dans la phase liquide et la phase gazeuse, ce qui constitue une situation complexe de transfert. Le transfert macroscopique de HTO dans le milieu est alors contrôlé par sa mobilité respective dans les phases liquide et gazeuse, la connectivité de ces deux phases et leur terme d'échange.

Pour étudier ce phénomène, le CEA a mis en œuvre des essais de diffusion, avec deux techniques de contrôle de la teneur en eau, initialement développées pour les matériaux argileux dans le cadre des études pour le projet Cigéo, et qui permettent de couvrir toute la gamme de degrés de saturation à investiguer. La première technique s'appuie sur le processus osmotique pour fixer la saturation en eau du matériau cimentaire entre 100 % et 85 % (ici, des pâtes de ciment hydraté à base de ciment CEM V/A). La seconde technique utilise des solutions salines sous-saturées pour fixer la saturation entre 86 % et 18 %.

Les résultats obtenus avec ces deux techniques montrent que la diffusion de HTO est plus faible que lorsque le matériau est totalement saturé en eau, et qu'elle est essentiellement pilotée par la phase liquide, quel que soit le degré de saturation en eau. Les valeurs de D_e diminuent progressivement avec le degré de saturation en eau, jusqu'à un facteur 10 pour l'état le plus désaturé, contrairement à ce qui a été observé pour un gaz inerte comme le dihydrogène (ou le tritium gazeux HT). En effet, pour cette dernière espèce, on observe une augmentation des valeurs de D_e de plusieurs ordres de grandeur lorsque la saturation en eau du matériau baisse.

La prise en compte de l'évolution du comportement de transfert de HT et HTO en fonction de la saturation en eau des matériaux cimentaires permettra d'accroître la capacité de représentation phénoménologique de l'évaluation des rejets diffus en tritium des ouvrages du CSA.



SÉBASTIEN SAVOYE

Chercheur au CEA-DEN-DPC-SECR
Laboratoire de mesures et modélisation de la migration des radionucléides, Université Paris-Saclay

Au sein du CEA, j'étudie la migration des radionucléides au travers de matériaux naturels (sols, roches argileuses, etc.) ou anthropogéniques (matériaux cimentaires, bitumineux, etc.), utilisés comme barrières contre la dispersion de la radioactivité. Les conditions d'études sont multiples et représentatives de ce qui est rencontré/attendu *in situ*. Il peut ainsi s'agir d'estimer les effets sur le transport des radionucléides, d'une élévation de la température, de la désaturation en eau des matériaux de confinement, ou de transitoires chimiques (dissolution, précipitation, redox, etc.). La qualité de cette évaluation demande, d'une part, une connaissance fine des processus élémentaires qui régissent la migration des radionucléides (spéciation en solution, interaction chimique des radionucléides avec les phases solides, physique du transport) et, d'autre part, de les modéliser de façon adéquate dans les codes de chimie-transport. Cette approche s'appuie sur des essais réalisés à différentes échelles de complexité, de matériaux modèles « simples » jusqu'à des systèmes réels. L'objectif final de ces études est d'élaborer des modèles de migration suffisamment robustes pour décrire le comportement des radionucléides sous différentes conditions environnementales.

LA RÉVISION DU MODÈLE STRUCTURAL DU MILIEU GÉOLOGIQUE DU CSM

Dans le cadre du réexamen de sûreté et des études complémentaires de sûreté concernant le Centre de stockage de la Manche (CSM), le modèle structural régional et local sur la région étendue du Cotentin/Manche a été consolidé, et l'aléa sismique réévalué.

Une révision critique de l'ensemble des données disponibles a été réalisée en utilisant plusieurs approches : (I) une analyse de l'ensemble des travaux et données disponibles, en particulier des données sismiques offshore, et des données sismiques HR nouvellement acquises en baie de Seine, (II) une étude stratigraphique détaillée onshore et offshore en baie de Seine et dans le golfe normand-breton pour caractériser la relation terre/mer des séries géologiques, (III) l'identification, la comparaison, la classification et la hiérarchisation de l'ensemble des structures sur la zone d'étude, suivies par un descriptif et une caractérisation géométrique et dynamique de chacune d'elles à terre et en mer, (IV) une étude morphostructurale et morphobathymétrique, et (V) une étude de terrain sur le nord de la presqu'île du Cotentin et sur la faille de Jobourg.

Ces travaux ont montré qu'aucune des déformations affectant les formations quaternaires n'est tectonique mais que ces déformations sont d'origine climatique, et qu'aucune trace de la faille supposée de Jobourg n'a été observée sur le terrain, malgré la très bonne qualité des affleurements disponibles. L'ensemble de cette étude, couplée à la sismotectonique, la gravimétrie et le magnétisme a permis de proposer un modèle structural robuste et un modèle sismotectonique par famille de failles cohérent pour l'évaluation de l'aléa sismique tant déterministe que probabiliste.

“
 Témoignage
 FRÉDÉRIC
 EGO

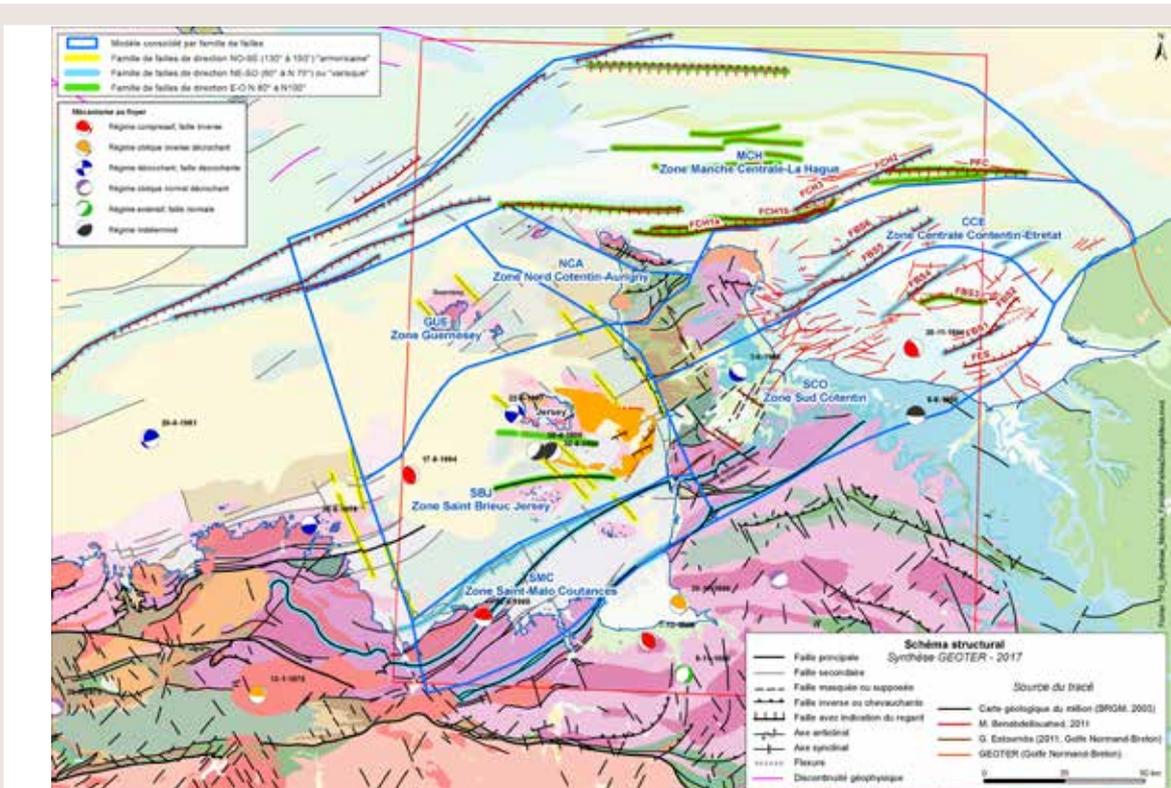


Schéma structural révisé sur le secteur du Cotentin.



FRÉDÉRIC
EGO

Ingénieur géologue structuraliste, service coordination opérationnelle, caractérisation et chaînes de données, direction de la recherche et développement

Dans le cadre de la préparation du réexamen de sûreté du CSM en 2019, la révision du modèle structural sur et autour du centre, se place en amont du contrôle des évaluations de l'aléa sismique en tenant compte de l'évolution des données et des connaissances. Plus particulièrement, ce modèle a été élaboré et mis à jour sur une base documentaire et des contrôles de terrain portant sur le cadre structural et régional du secteur d'étude, mais aussi, chose nouvelle, à partir de l'acquisition et de l'interprétation de profils de sismique réflexion offshore et de la synthèse des travaux les plus récents. Il s'agit d'un modèle structural qui intègre des échelles régionales et locales, et qui possède des qualités de robustesse et de cohérence indispensables, pour la réévaluation solide de l'aléa sismique sur le CSM. Cette réévaluation est à la fois de type réglementaire suivant une approche déterministe, et de type prospectif suivant une approche probabiliste, conformément à l'état de l'art international. Cette dernière approche, adaptée à la durée de la phase de surveillance (300 ans) et au-delà, est complémentaire de celle déterministe qui a été menée, afin de disposer de connaissances solides au regard du dimensionnement de la couverture du CSM.

Une R&D innovante sur le traitement/conditionnement des déchets en amont des stockages

«
Témoignage
NATHALIE
TEXIER-
MANDOKI

LE PROJET NOUMEHA (NOUVEAUX MATÉRIAUX POUR L'ALVÉOLE HA), DANS LE CADRE DU PROJET FÉDÉRATEUR NEEDS PILOTÉ PAR LE CNRS

Piloté par l'Andra, le projet structurant Nouveaux matériaux pour l'alvéole HA (NOUMEHA), financé en 2016 et 2017 dans le cadre du projet fédérateur NEEDS Déchets du CNRS, couvrait cinq thématiques : (I) mise au point du procédé micro-ondes afin d'envisager son industrialisation (axe central du projet), (II) modélisation de l'interaction ondes/matières (simulation des champs électromagnétiques et thermiques résultant d'un chauffage micro-ondes), (III) caractérisations (résistance mécanique et tenue à la lixiviation avant et après des irradiations), (IV) design de la zone de scellement et (V) développement de composites à matrice minérale pour le chemisage des alvéoles HA.

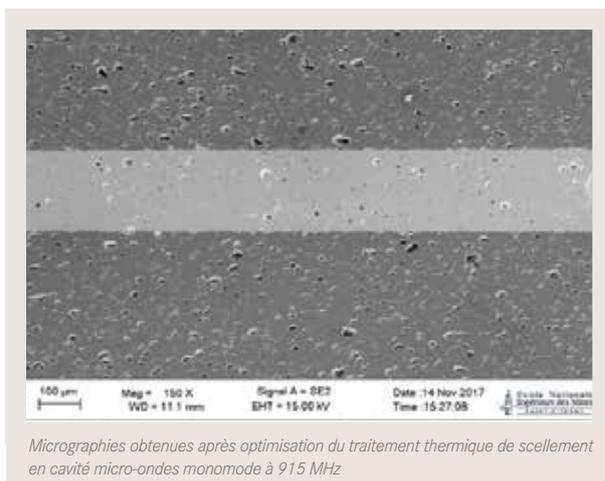
Les travaux ont été menés en 2017 par un consortium¹ de huit laboratoires et trois entreprises/PME. Ces travaux ont notamment permis :

- l'amélioration de la qualité de l'interface céramique/verre de scellement *via* un procédé de mise en œuvre de l'émaillage en deux étapes : première cuisson en four conventionnel, puis scellement des pièces émaillées par traitement thermique micro-ondes. Le procédé devient dès lors plus industrialisable avec cette précuisson qui peut être réalisée chez le porcelainier fournisseur du conteneur céramique ;
- la confirmation que les deux verres « à façon » testés ont des températures de mise en œuvre compatibles avec les contraintes imposées par la présence du colis primaire ;
- la confirmation de la faisabilité d'un scellement par chauffage micro-ondes.

Pour aller plus loin et concevoir et tester un premier prototype, il est envisagé : (I) d'utiliser un chauffage localisé, et non plus une cavité comme en laboratoire, (II) de travailler sur une forme proche de celle du conteneur (assemblage d'anneaux), (III) d'étudier la tenue de la céramique aux gradients thermiques résultant d'un chauffage localisé.



Photographie prise lors d'une expérience de scellement réalisée en cavité micro-ondes monomode à 2,45 GHz



Micrographies obtenues après optimisation du traitement thermique de scellement en cavité micro-ondes monomode à 915 MHz

1. Laboratoires LGF, CRISMAT, SIMAP, IRCER, Navier, LMA, CEA-LP2C, sociétés SAIREM, PPA, Mistras.

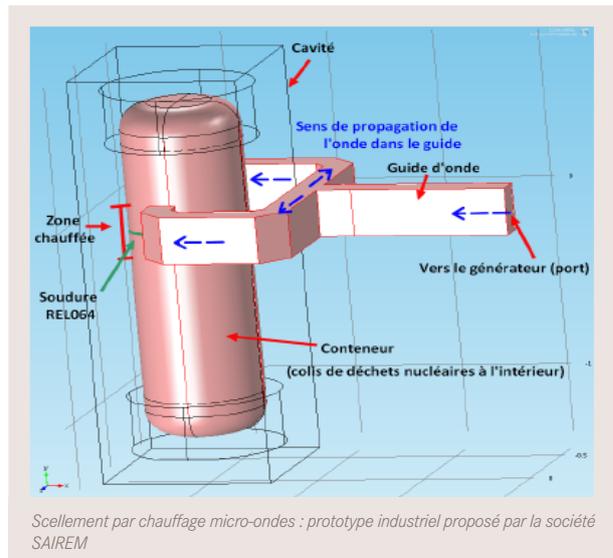


**NATHALIE
TEXIER-
MANDOKI**

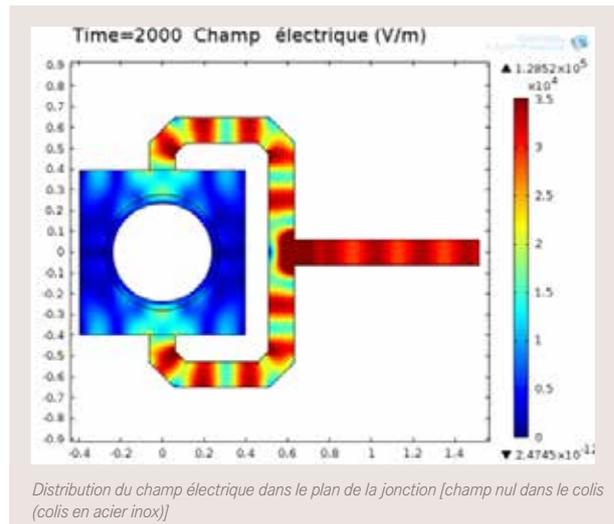
Ingénieur en sciences des matériaux, service colis et matériaux, direction de la recherche et développement

La thématique des matériaux innovants de l'Andra s'inscrit dans un processus d'optimisation du stockage Cigéo. S'il est autorisé, Cigéo devrait se développer progressivement sur une durée séculaire, offrant ainsi la possibilité aux générations futures d'intégrer des optimisations du fait des progrès scientifiques et techniques, et du retour d'expérience de l'exploitation de Cigéo.

Par exemple, la corrosion en conditions anoxiques des conteneurs en acier non allié et des chemisages métalliques, solution de référence pour les alvéoles de stockage des déchets HA, peut générer des quantités non négligeables d'hydrogène dans le stockage. Les premiers déchets vitrifiés HA 1/2 devraient être stockés à partir de 2075, il s'agit dès lors de développer une R&D en rupture (TRL 3 à 4) par rapport aux concepts existants et aux technologies actuelles. Une des voies d'optimisation du stockage est de développer et d'étudier des matériaux alternatifs aux matériaux métalliques. Ces matériaux doivent répondre aux mêmes exigences que celles requises pour les matériaux actuellement définis et devront notamment être relativement inertes vis-à-vis de l'altération des déchets et de l'argilite du site. À l'Andra, la faisabilité d'un conteneur de stockage en céramique, matériau inerte par nature, est étudiée depuis 2007. Ces développements ont montré la faisabilité du corps et du couvercle d'un conteneur de stockage échelle 1/2 et d'épaisseur 4 cm, en céramique alumino-silicatée. La problématique majeure actuelle reste la fermeture d'un tel système, avec des contraintes en termes d'étanchéité, de tenue mécanique, de température d'élaboration, de caractérisation des défauts, etc.



Scellement par chauffage micro-ondes : prototype industriel proposé par la société SAIREM



Distribution du champ électrique dans le plan de la jonction [champ nul dans le colis (colis en acier inox)]

“
Témoignage
MARC
ROHFRITSCH

LE FINANCEMENT ET LE SUIVI ADMINISTRATIF ET TECHNIQUE DE PROJETS MENÉS DANS LE CADRE DU PROGRAMME D'INVESTISSEMENTS D'AVENIR



L'Andra bénéficie depuis 2010, dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir, d'une dotation de 75 millions d'euros afin de développer des solutions innovantes de gestion des déchets radioactifs en amont du stockage. L'ensemble de ces fonds est aujourd'hui fléché sur deux grandes actions :

- **le projet PIVIC** (collaboration Orano/CEA/Andra, 2011-2026) ;
- **l'appel à projets Andra**, organisé en coopération avec l'ANR, et dédié à l'optimisation de la gestion des déchets radioactifs de démantèlement. À l'issue des deux éditions de cet appel à projets, près de 90 projets ont été soumis, dont 29 ont été retenus pour un financement par le PIA à hauteur d'environ 50% des budgets présentés.

Au travers de cette trentaine de projets, 74 organismes dont 20 PME et 36 organismes de recherche sont ainsi financés pour travailler sur trois grandes thématiques structurantes de R&D, répondant aux besoins identifiés pour le démantèlement des installations nucléaires :

- **recyclage/valorisation des déchets** (TFA en particulier) : métaux GB1, gravats, câbles contaminés, métaux tritiés d'ITER ;
- **traitement/conditionnement des déchets difficiles à prendre en charge** : déchets tritiés, métaux réactifs, déchets alpha, liquides organiques, boues et résidus HA de fonds de cuve, etc. ;
- **optimisation des mesures et des contrôles colis** : mesure des émetteurs alpha et bêta faibles, tomographie *in situ*, contrôle non destructif de la fissuration des bétons et de la corrosion des métaux, caméras gamma, dosimétrie répartie, etc.

À cela se rajoutent quelques projets plus en lien avec les besoins d'innovation pour le projet Cigéo : capteurs de corrosion, de dihydrogène, alimentation autonome des capteurs, nouveaux matériaux de colisage, plus résistants à la corrosion, aux incendies (céramique, traitements de surface anti-corrosion, ciments et géopolymères anti-feu, etc.).

Les projets soutenus par l'Andra dans le cadre du PIA se positionnent en amont du stockage, c'est-à-dire dans les étapes du cycle de vie des déchets radioactifs précédant leur prise en charge en stockage. À ce titre, ils ne relèvent pas des missions usuelles de l'Andra (projets Cigéo, FA-VL, et activités industrielles). Pour autant, les projets soutenus répondent tous à des besoins identifiés par l'Agence, en termes de caractérisation, de traitement, de conditionnement, visant *in fine* à contribuer sous différentes formes à l'optimisation des stockages. Une gouvernance originale a été mise en place dans laquelle l'Andra, au-delà du suivi administratif et financier, s'implique techniquement et apporte son expertise dans tous



MARC
ROHFRITSCH

Directeur adjoint du programme énergie, économie circulaire au SGPI

Le Secrétariat général pour l'investissement (SGPI) est chargé de la mise en œuvre du Programme d'investissements d'avenir (PIA) et depuis début 2018 du suivi et de l'évaluation du Grand plan d'investissement (GPI). À ce titre, nous suivons depuis 2010 les actions de l'Andra dans le cadre du premier Programme d'investissements d'avenir. L'action de l'Andra fait partie à notre sens des exemples réussis pour lesquels le PIA a permis non seulement de soutenir et promouvoir l'innovation au sein de la filière nucléaire, mais également de renforcer le positionnement et les activités de l'Agence en matière de recherche et d'innovation. L'intervention de l'Andra au-delà de ses missions usuelles contribue ainsi à enrichir son expertise scientifique et sa vision intégratrice de la gestion des déchets radioactifs. Depuis plus d'un an, l'Andra a également su s'impliquer de manière croissante dans la valorisation des premiers résultats des projets soutenus, en particulier en matière de propriété intellectuelle et d'accompagnement dans les actions de prospection à l'international, dans le respect de l'esprit du Programme des investissements d'avenir.

les projets soutenus. L'objectif de cette implication technique est d'assurer, dès leur initiation, une cohérence entre ces projets et les développements en cours pour les stockages. L'Andra réalise également un important travail de valorisation des projets financés, afin d'assurer leur pérennité au-delà même du soutien apporté par le Programme d'investissements d'avenir.



Répartition des organismes financés dans le cadre du PIA/Andra

02

L'ANDRA ET LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE

Avec 13 partenariats de R&D en 2017 dont deux nouveaux accords, l'Andra mobilise fortement la communauté scientifique

“
Témoignage
CHARLES-
HENRY
BERTHIER

L'ANDRA SIGNE UNE CONVENTION AVEC LA RATP SUR LE PARTAGE DE DONNÉES SUR LES FIBRES OPTIQUES

Le 30 mars 2017, l'Andra et la RATP ont signé une convention de partage de données et de connaissances dans le domaine de la surveillance d'ouvrages souterrains par fibre optique.



L'Andra et la RATP, tous deux maîtres d'ouvrage de grands projets souterrains, ont décidé de partager leurs connaissances et leurs retours d'expérience sur la mise en œuvre des fibres optiques pour la surveillance d'ouvrages.

Dans le cadre de cette convention, l'Andra met à la disposition de la RATP la base de connaissances issue de ses recherches sur les capteurs à fibre optique pour la surveillance et l'observation des ouvrages de Cigéo.

En contrepartie, la RATP partage avec l'Andra son retour d'expérience, et en particulier les connaissances acquises grâce à la mise en œuvre opérationnelle de ces dispositifs dans le cadre du prolongement des lignes de métro 12 et 14 sud.



Instrumentation d'un tunnel de la RATP



CHARLES-
HENRY
BERTHIER

Ingénieur de projet gestion des infrastructures du Grand Paris Express, domaine génie civil, RATP

L'instrumentation des ouvrages d'art par un dispositif de fibre optique permet de mesurer la déformation de certains de nos tunnels. Dans un premier temps, nous déployons ce dispositif sur l'ensemble des prolongements de lignes existantes dont la maîtrise d'ouvrage est assurée par la RATP.

L'utilisation d'une surveillance continue par fibre optique doit permettre à la RATP de détecter de façon anticipée l'apparition de désordres pour les traiter avec une réactivité accrue et d'améliorer l'évaluation de l'état et du comportement des ouvrages en temps réel et à long terme.

La surveillance des tunnels par fibre optique est une technique non destructive qui est compatible avec l'exploitation des trains voyageurs. Cela permet à la RATP d'obtenir des informations quasiment en temps réel durant l'exploitation ou hors exploitation. Ces informations sur l'état de l'ouvrage sont transmises vers un poste de gestion centralisée de la maintenance des infrastructures qui pourra piloter, le cas échéant, une intervention corrective sur site.

Cette technologie est robuste et peu sensible à l'environnement ; de surcroît, la fibre optique a la particularité d'être le capteur et le vecteur de l'information.

Conscient des multiples avantages et des possibilités qu'offre la surveillance d'infrastructures par fibre optique, la RATP avait cherché à identifier des utilisateurs de cette technologie. Il s'est avéré que l'Andra est l'un des pionniers dans l'utilisation de moyens de surveillance innovants.

L'Andra et la RATP sont deux Épic propriétaires d'infrastructures souterraines dont la pérennité est un enjeu essentiel et qui ont *a minima* comme points communs la sécurité des infrastructures et la longévité des infrastructures.

Les échanges de données entre l'Andra et la RATP vont permettre le déploiement des capteurs à fibre optique dans nos ouvrages d'art et l'intégration de ce moyen de surveillance dans nos outils de gestion des ouvrages.

L'ANDRA RENFORCE SA COLLABORATION AVEC EDF DANS LE DOMAINE DE LA R&D

“
Témoignage
PATRICK
BARBRAULT

En 2016, l'Andra a signé avec la R&D d'EDF un accord visant à renforcer la collaboration Andra/EDF en matière de recherche dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs.



Avec cet accord, EDF et l'Andra ont souhaité partager leur expérience et leurs moyens de R&D sur des thématiques d'intérêt commun telles que les nouvelles technologies d'instrumentation, la gestion des données, la simulation numérique, l'environnement ou encore les sciences humaines et sociales.

EDF et l'Andra collaborent depuis de nombreuses années dans le domaine de la R&D. La formalisation de cet accord marque une volonté forte d'unir les efforts de R&D sur le long terme, en particulier sur le projet de stockage géologique profond Cigéo et sur le développement de solutions technologiques innovantes pour la gestion des déchets futurs, notamment ceux qui seront produits lors du démantèlement des centrales nucléaires.



PATRICK
BARBRAULT

Délégué Programme cœur combustible aval du cycle, EDF, R&D

EDF R&D et l'Andra collaborent depuis de nombreuses années sur des actions de R&D, dans différents cadres contractuels, notamment en lien avec le CEA ou Orano, voire dans des cadres européens. Le contrat de collaboration bilatéral Andra-EDF R&D est un cadre privilégié de collaboration étroite ciblée sur des questions importantes et pointues. EDF R&D met en œuvre pour ces recherches son savoir-faire, codes de calcul et modèles fins de simulation, méthodes expérimentales de caractérisation, experts dans différents domaines de la physique (mécanique, matériaux, corrosion, etc.), au service d'un objectif commun qui est la gestion à long terme des déchets radioactifs à Cigéo.

Nos premiers travaux en commun ont concerné les mécanismes de comportement de la roche hôte avec des ingénieurs chercheurs d'EDF Lab Paris-Saclay, les cinétiques de corrosion des aciers de chemisage des alvéoles HA et des surconteneurs de verres avec l'EDF Lab des Renardières à côté de Fontainebleau.

Les dialogues techniques sont riches d'enseignement pour les ingénieurs chercheurs des deux organismes, et les résultats ont une grande valeur pour la maîtrise technique du cycle complet de la filière nucléaire.

“ **LA CERTIFICATION ICOS POUR LA STATION ATMOSPHÉRIQUE DE L'ANDRA**

Témoignage
SÉBASTIEN
CONIL

En décembre 2017, la station atmosphérique de l'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE) de l'Andra à Houdelaincourt (Meuse) a été certifiée par le programme européen Icos (*Integrated Carbon Observation System*) dédié au suivi des gaz à effet de serre. Elle fait partie des sept premières stations en Europe à être certifiées.

Équipée d'un pylône d'une hauteur de 120 m, la station atmosphérique de l'Andra est notamment dotée de capteurs météorologiques et de préleveurs d'air reliés à des analyseurs au sol. En plus des mesures faites sur la radioactivité de l'air ambiant, elle permet de mesurer en continu les particules en suspension dans l'atmosphère ainsi que les teneurs des principaux polluants atmosphériques.



SÉBASTIEN
CONIL

Ingénieur en environnement, service Observatoire pérenne de l'environnement, direction de la recherche et développement

Nous avons été très heureux de recevoir cette labellisation intervenant à l'issue d'un long processus débuté en 2016 et orchestré par le Centre thématique atmosphérique hébergé au LSCE (Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement) du CEA, comportant une étape préliminaire de validation des caractéristiques de la station suivie d'une étape de validation des données de la station.

Nos efforts pour réaliser un monitoring des propriétés atmosphériques au sein de l'Observatoire pérenne de l'environnement ont débuté en 2009 par la recherche d'un lieu favorable puis par la mise en place des infrastructures en 2010. Les mesures ont débuté en 2011 notamment dans le cadre de la phase préparatoire d'Icos qui comprenait la démonstration de faisabilité avec un « mini » réseau. Une première campagne d'intercomparaison a été menée avec des Allemands de l'université de Heidelberg en 2011. Une seconde campagne d'intercomparaison a été menée par des Finlandais du FMI (Institut météorologique finlandais) en 2014.

Cette labellisation est le fruit de nos efforts continus, sur le long terme, à l'Andra avec le LSCE comme support scientifique et technique. Ces efforts doivent être poursuivis afin de consolider nos mesures, de suivre les avancées du réseau notamment en termes de contrôle qualité et de « norme » métrologique, et d'adapter la station aux évolutions d'Icos et de l'Organisation mondiale de la météorologie.



Station atmosphérique de l'OPE

Une implication forte de l'Andra dans l'évolution de la gouvernance des projets européens

Depuis plus de 40 ans, à travers Euratom, la Commission européenne (CE) soutient l'acquisition, au niveau européen, de connaissances scientifiques et techniques autour de la gestion et du stockage des déchets radioactifs, avec un fort accent mis sur le stockage géologique profond. Pour cela, elle a apporté son soutien à des projets de R&D collaboratifs ainsi qu'à la mise en place de la plateforme IGD-TP (rassemblant les agences de gestion des déchets) et du réseau Sitex (rassemblant les organisations exerçant la fonction « expertise » auprès des régulateurs).



Aujourd'hui, la CE souhaite opérer un tournant dans le mode de coopération et de gouvernance de la recherche européenne en soutenant non plus des projets individuels mais des **programmations conjointes de recherche (Joint Programmes)** rassemblant les *Programme Owners* (généralement les ministères/ autorités responsables de la définition, du financement ou de la gestion des programmes au niveau national) et/ou les *Programme Managers* (organisations en charge de la mise en œuvre du programme national) autour d'une vision à moyen/long terme et d'un agenda stratégique de recherche.

LE FUTUR EUROPEAN JOINT PROGRAMME ON RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT INCLUDING DISPOSAL (RWM)

Accepté en 2015 dans le cadre du programme Euratom – Horizon 2020, et piloté par l'Andra, le projet européen JOPRAD (www.joprad.eu) porte sur la définition d'un programme de recherche collaborative (*European Joint Programme – EJP*)



au niveau européen dans le domaine de la R&D sur la gestion des déchets radioactifs. Il répond à la volonté de la CE de rassembler l'ensemble des acteurs, organismes en charge de la gestion des déchets radioactifs (WMOs), organisations exerçant la fonction expertise auprès des régulateurs (TSOs) et organismes de recherche (REs), au sein d'une même structure de recherche avec une vision commune. L'objectif du projet JOPRAD est d'identifier les conditions de la faisabilité d'un tel programme collaboratif, ainsi que les sujets sur lesquels il serait pertinent de mutualiser la recherche à l'échelle européenne.

“
Témoignages
JACQUES DELAY
MARIE GARCIA
STÉPHAN
SCHUMACHER



JACQUES
DELAY

Ingénieur coordinateur du projet JOPRAD, direction de la recherche et développement

Le projet européen JOPRAD marque la fin d'une étape de structuration et d'organisation des acteurs européens de la recherche sur la gestion à long terme des déchets radioactifs. Cette étape a débuté il y a une dizaine d'années par la création de l'IGD-TP, rassemblant les organisations en charge de la gestion des déchets radioactifs, les *Waste management Organisation* (WMOs), comme l'Andra, et de Sitex, plateforme regroupant des organisations de soutien technique aux autorités de sûreté, les *Technical Support Organisation* (TSOs), comme l'IRSN, et enfin des représentants de la société civile. Complétant ces deux entités, ayant déjà établi ou impulsé leur agenda de recherche, un groupe d'organismes de recherche (REs), s'est constitué autour du CNRS. Ces trois groupes ont réussi en un laps de temps très réduit, à produire un programme scientifique qui prépare la feuille de route stratégique de la recherche européenne en matière de R&D pour la gestion à long terme des déchets radioactifs pour les 10 prochaines années.



MARIE
GARCIA

Ingénieur gestion de projets scientifiques, direction de la recherche et développement

Sur la base du travail préparatoire réalisé dans le cadre du projet JOPRAD, la communauté autour de la gestion des déchets radioactifs, s'est fortement mobilisée afin de préparer les documents fondateurs nécessaires à l'établissement de l'EJP (vision, agenda de recherche stratégique, *roadmap* et règles de gouvernance) ainsi que le contenu scientifique et technique de la première phase d'implémentation. Des échanges avec l'AIEA et NUGENIA (Association européenne de recherche relative aux réacteurs nucléaires de générations II et III) ont permis d'identifier les synergies possibles. Si l'EJP est évalué positivement par la Commission européenne, son lancement et le démarrage de la première phase sont prévus mi-2019.

Le workshop de clôture du projet JOPRAD s'est tenu le 16 novembre 2017 à Prague, et a rassemblé une centaine de représentants de 60 organisations (WMOs, TSOs, REs, organisations de la société civile CSOs, Commission européenne, NUGENIA) et 19 pays. L'objectif de ce workshop final était de présenter les résultats du projet, soit (i) l'identification des principaux acteurs de recherche (WMOs, TSOs, REs), (ii) l'identification des besoins communs de R&D, de *networking* et de *Knowledge Management* (JOPRAD Programme

document), et (iii) la définition des principes de gouvernance et du schéma de gouvernance de l'EJP.

Ces livrables JOPRAD font référence pour le montage officiel de la proposition d'EJP.

LE LANCEMENT DU MONTAGE DE LA PREMIÈRE PHASE D'IMPLÉMENTATION DU JOINT PROGRAMME

Dans le cadre du Work Programme 2018 du programme Euratom – Horizon 2020, la CE a lancé un *call* pour le dépôt d'un *European Joint Programme* autour de la gestion des déchets radioactifs.

Un groupe restreint de représentants des différentes catégories d'acteurs, piloté par l'Andra, a pour mission de mobiliser l'ensemble de la communauté, de coordonner le montage technique et administratif du dossier et de veiller à ce que les grands principes de gouvernance soient respectés, et plus particulièrement les principes d'inclusion, de transparence, d'excellence scientifique, et d'équité.

Le *Joint Programme* doit être inclusif, tous les États membres doivent pouvoir trouver un intérêt, ce qui constitue un vrai challenge étant donné la diversité des contextes nationaux en Europe :

- États membres nucléarisés et non nucléarisés ;
- États membres avec des stades plus ou moins avancés dans la mise en œuvre de leur programme national de gestion des déchets radioactifs ;
- différents concepts de stockage (dépendant par exemple de la roche hôte pour le stockage géologique profond).

Le 18 octobre 2017, 120 organisations européennes venant de 22 pays européens et un représentant de la CE se sont réunis à l'espace Vasarely d'Antony (92), pour une journée d'information et d'échanges autour de l'EJP. Cette réunion, pilotée par l'Andra, a permis d'échanger sur le contenu scientifique et technique du dossier de soumission, et plus précisément de définir les projets qui seraient initiés au lancement de l'EJP courant 2019.

Il s'agit à la fois de projets de R&D et d'études stratégiques, tels que listés ci-dessous :

R&D :

- *Mechanistic understanding of gas transport in clay materials* (GAS) ;
- *Influence of temperature on clay-based material behaviour* (HITEC) ;
- *Assessment of Chemical Evolution of ILW and HLW Disposal Cells* (ACED) ;
- *Spent Fuel characterisation and evolution until disposal* (SFC) ;
- *Development and Improvement Of Numerical methods and Tools for modelling coupled processes* (DONUT) ;
- *Cement-Organics-Radionuclide interactions* (CORI) ;
- *Fundamental understanding of radionuclide retention* (FUTURE).

Études stratégiques :

- *Waste Management routes in Europe from cradle to grave* (ROUTES) ;
- *Understanding of uncertainty, risk and safety* (UMAN).



STÉPHAN
SCHUMACHER

Directeur adjoint de la direction de la recherche et développement

Le travail réalisé dans le cadre de la préparation de l'EJP a permis de mobiliser les trois communautés d'acteurs autour de sept projets de R&D. Les sujets retenus constituent des thématiques d'intérêt pour l'Andra qu'il s'agisse d'intégrer les connaissances scientifiques à l'échelle de l'alvéole (ACED) ou, dans une perspective plus long terme, (I) de renforcer la robustesse de nos évaluations de performance et de sûreté, de réduire les conservatismes, et de maintenir les compétences (GAS, FuTURE, DONUT) ; (II) d'évaluer des optimisations possibles de l'architecture des stockages (HITEC) et (III) de fournir des données d'entrée complémentaires pour les études d'adaptabilité (SFC). Outre les activités de R&D, notre mobilisation porte également sur les études stratégiques et sur le *knowledge management*.



STÉPHANE
PLUMERI

Ingénieur contrôle qualité des colis, service colis et matériaux, direction de la recherche et développement

L'objectif de CHANCE est double, il s'agit d'une part d'identifier des méthodes pertinentes qui pourraient améliorer la caractérisation des colis de déchets, d'autre part de proposer des développements techniques qui devraient permettre de résoudre certaines problématiques liées à cette caractérisation.

L'ambition du projet est de prendre en compte toutes les filières de déchets existantes en Europe, ainsi que tous les concepts de stockage envisagés, comme le stockage en surface type CSA pour les déchets de faible et moyenne activité à vie courte, ou le stockage géologique profond Cigéo, pour les déchets de haute activité et les déchets de moyenne activité à vie longue.

L'idée générale qui a motivé le montage de ce projet est d'améliorer la caractérisation des colis de déchets pour optimiser leur gestion en stockage. Une meilleure caractérisation conduit à une catégorisation optimisée vers les différentes filières de gestion et, *in fine*, à un renforcement de la sûreté des différents entreposages et stockages.

À titre d'exemple, le projet CHANCE étudie l'application innovante de la tomographie à muons pour la caractérisation et le contrôle du contenu de colis de grand volume (plusieurs mètres cubes), qui est souvent problématique aujourd'hui.

“

Témoignage
STÉPHANE
PLUMERI

L'ANDRA COORDONNE LE PROJET EUROPÉEN CHANCE DU PROGRAMME EURATOM – HORIZON 2020

Le projet **CHANCE** (*Characterization of conditioned nuclear waste for its safe disposal in Europe*, <http://www.chance-h2020.eu>), coordonné par l'Andra, a officiellement démarré le 1^{er} juin 2017 pour une période quatre ans.

Le projet CHANCE, qui rassemble 12 partenaires, vise à comprendre et partager les méthodes de caractérisation et les outils de contrôle de la qualité des colis de déchets radioactifs, utilisés dans les différents pays européens. Par ailleurs, dans le cadre de ce projet, de nouvelles techniques de caractérisation de colis de déchets sont développées : (I) la calorimétrie en tant que technique innovante non destructive pour réduire les incertitudes sur l'inventaire radiologique, (II) la tomographie à muons pour le contrôle non destructif de colis de déchets de volume important, (III) la CRDS (Cavity Ring Down Spectroscopy) pour la caractérisation du dégazage des colis de déchets.

Dans le cadre du projet CHANCE, de nombreuses interactions sont prévues entre les acteurs du domaine (producteurs de déchets, stockeurs, etc.), avec pour objectif de partager l'état de l'art en termes de caractérisation des colis de déchets et d'identifier les difficultés rencontrées et les solutions technologiques pertinentes à développer. Un premier séminaire a eu lieu en novembre 2017 à Paris, l'occasion pour les partenaires de CHANCE de présenter le projet et ses objectifs à une dizaine d'acteurs européens tels qu'Orano, EDF et des homologues de l'Andra (RWM, Enresa, etc.).



L'ANDRA PARTICIPE AU LANCEMENT DES PROJETS EUROPÉENS THERAMIN ET BEACON DU PROGRAMME EURATOM – HORIZON 2020

Le projet **THERAMIN** (<http://www.theramin-h2020.eu/>) vise à améliorer le stockage et la gestion à long terme des déchets de faible et moyenne activité, compatibles avec un traitement thermique. L'objectif est d'identifier l'ensemble des déchets susceptibles de bénéficier de ce type de traitement et les procédés disponibles à l'échelle européenne, en particulier dans les pays partenaires du projet. Cette phase d'identification est suivie d'une analyse croisée des déchets et des procédés afin de mettre en lumière d'éventuelles opportunités de traitement. Des essais seront notamment réalisés en support.



Coordonné par l'organisme finlandais VTT (Technical Research Centre of Finland Ltd, www.vttresearch.com), ce projet comporte plusieurs *work packages* (WP) dont un WP d'intégration piloté par l'Andra.

Depuis le démarrage du projet en juin 2017, des travaux, pilotés par Galson Sciences Ltd (GSL), ont ainsi porté sur l'identification des

déchets radioactifs d'intérêt pour un traitement thermique. Pour la France, ce travail a été mené conjointement par le CEA, Orano et l'Andra. Les déchets potentiellement concernés ont été identifiés et regroupés par catégorie. Un travail d'identification des procédés de traitement thermique a également démarré. En parallèle, les essais de traitement à mener sur les prototypes existants, ont été sélectionnés. De même, les critères d'acceptation en stockage pour les déchets issus du traitement thermique, ainsi que les moyens de caractérisation à mettre en œuvre dans le cadre du projet ont déjà été identifiés.

Le projet **BEACON** (Bentonite Mechanical Evolution, <https://igdtp.eu/activity/beacon-bentonite-mechanical-evolution/>) a pour objectif d'améliorer la maîtrise du rôle, dans l'atteinte des performances attendues, des hétérogénéités dans les ouvrages de fermeture à base de bentonite des stockages géologiques profonds, lors de la mise en place de ces ouvrages ou dans les conditions inhérentes aux sollicitations hydromécaniques en conditions de stockage. Une part importante du projet est dédiée au développement et à la qualification des modèles nécessaires à l'évaluation de l'évolution hydromécanique des bentonites à l'échelle plurimétrique de ces ouvrages.

Coordonné par SKB, ce projet rassemble 25 partenaires de 11 pays. L'Andra est impliquée dans différents *workpackages*.

Depuis le démarrage du projet en juin 2017, un état de l'art a été réalisé sur l'ensemble des essais et expérimentations destinés à caractériser le comportement hydromécanique des bentonites dans le contexte du stockage de déchets radioactifs, afin de constituer une base de données unique et de faciliter l'inter-comparaison de ces données.

Une année à nouveau riche en manifestations scientifiques

En 2017, l'Andra a organisé/participé à 27 manifestations scientifiques dont 22 à l'international

ORGANISATION DU *WORKSHOP* « CLAY PLATFORM ON EROSION » DANS LE DOMAINE DE LA GÉOPROSPECTIVE (ÉVOLUTION CLIMATIQUE, ÉVOLUTION GÉODYNAMIQUE INTERNE, ÉROSION)

Le 19 et le 20 janvier 2017, des experts de la Nagra, de l'Ondraf, et de l'Andra dans le domaine de la géoprospective (évolution climatique, évolution géodynamique interne, érosion) se sont réunis au siège de l'Andra à Châtenay-Malabry pour un *workshop* « Clay Platform on erosion » dédié à l'érosion des formations géologiques dans le temps. L'École des Mines de Fontainebleau, partenaire de l'Andra sur cette thématique, était aussi présente. La question de la maîtrise des processus d'érosion et des vitesses d'érosion a été au cœur des discussions, au regard des différentes échelles de temps (du court terme au long terme) et des contextes géologiques propres à chaque agence (Bassin parisien pour l'Andra, Alpes pour la Nagra, etc.).



Le *workshop* « Clay Platform on erosion ».

“
Témoignage
JEAN ROMAN

ORGANISATION DE LA JOURNÉE D'ÉCHANGES ANDRA- INRIA SUR LA SIMULATION NUMÉRIQUE HAUTE PERFORMANCE DANS LE DOMAINE DES GÉOSCIENCES

Le 24 novembre 2017, l'Andra et Inria ont organisé une journée d'échanges sur la simulation numérique haute performance dans le domaine des géosciences. Cette rencontre, qui avait lieu à Paris, a rassemblé plus de 80 ingénieurs et chercheurs issus de sept établissements scientifiques et industriels (Inria, l'Andra, le BRGM, l'IFPEN, Total, EDF, le CEA). Le ministère de la Recherche a également participé à la rencontre.

L'objectif de la journée était de partager les besoins de R&D de chacun et d'identifier les actions de R&D (outils de simulation, méthodes, etc.) qui pourraient être mutualisées.

Les différents échanges, notamment au sein des ateliers de l'après-midi, ont permis d'identifier des besoins communs et de faire un état de l'art des méthodologies existantes ou en cours de réalisation en termes de R&D sur les thématiques suivantes :

- les schémas numériques, les algorithmes de maillage et le contrôle d'erreurs ;
- les méthodes de parallélisation et les solveurs ;
- les logiciels et les piles logicielles.

Les échanges doivent se poursuivre au cours de l'année 2018 pour préciser les actions et les modes de collaboration à mettre en place.



JEAN ROMAN

Adjoint au directeur scientifique en charge du domaine de recherche mathématiques appliquées, calcul et simulation, Inria

Dans la lignée de l'accord bilatéral de collaboration entre l'Andra et Inria, la journée du 24 novembre 2017 sur les problématiques scientifiques de la simulation numérique haute performance pour les géosciences a été un réel succès. Ce fut tout d'abord un moment très riche scientifiquement qui a permis de faire un point précis sur l'état de l'art des compétences et des challenges au sein de tous les grands organismes impliqués de diverses manières dans la simulation numérique pour les géosciences. Ce fut ensuite l'occasion d'identifier un certain nombre de problématiques ayant trait à la modélisation et/ou à l'informatique du HPC communes aux organismes, problématiques qui ont pu par la suite être discutées et approfondies au sein des trois ateliers qui avaient été mis en place, l'objectif étant à plus long terme de consolider et/ou d'initier des collaborations scientifiques, voire de partager des briques logicielles suffisamment génériques. Des actions précises et directement issues de cette journée d'échanges verront le jour fin 2018 et courant 2019 et nul doute que cela permettra aux chercheurs d'Inria et aux ingénieurs des organismes présents d'avancer sur les sujets abordés et de monter ainsi en compétences.



La journée d'échanges Andra-Inria sur la simulation numérique haute performance dans le domaine des géosciences, novembre 2017

“
Témoignages
IRINA GAUS
ANNE
CLAUDEL

PARTICIPATION DE L'ANDRA À LA SEPTIÈME CLAY CONFERENCE (CLAYS IN NATURAL AND ENGINEERED BARRIERS FOR RADIOACTIVE-WASTE CONFINEMENT) DU 24 AU 27 SEPTEMBRE À DAVOS (SUISSE)

Organisée par la Nagra, homologue suisse de l'Andra, cette septième Clay Conference a réuni, du 24 au 27 septembre 2017, plus de 400 personnes, provenant de 21 pays. Les présentations, de très grande qualité, ont couvert des thèmes allant de la recherche fondamentale aux développements technologiques en passant par la compréhension des processus, au service de la conception et de l'analyse de performance et de sûreté des stockages.

L'Andra a été coorganisateur de cet événement avec d'autres organisations en charge de la gestion à long terme des déchets radioactifs dans le monde. La prochaine édition de la Clay Conference aura lieu à Nancy en 2020 et sera organisée par l'Andra.



La Clay Conference de Davos, septembre 2017



IRINA GAUS

Responsable de la recherche et développement, Nagra

La septième édition de la Clay Conference marque un jalon sur la voie de la réalisation des dépôts en couches géologiques profondes, dans lesquels l'argile peut intervenir en tant que barrière géologique naturelle ou en tant que barrière technique. Les derniers résultats des recherches en cours y ont été présentés, aussi bien des études au niveau moléculaire que des expériences grandeur nature dans les laboratoires souterrains. La conférence met en relation les experts de l'argile avec les organisations responsables de la réalisation des dépôts dans le monde entier. C'est aussi une plateforme pour les jeunes chercheurs et les pays dont le programme de gestion des déchets en est encore aux premiers stades de développement.

À présent, les travaux en vue de la construction d'un dépôt géologique ont débuté en Finlande. En Suède, la procédure menant à l'autorisation de construire est en cours d'instruction, tandis que la France est en route vers la Demande d'autorisation de création : avec la concrétisation progressive des projets, les aspects techniques de la réalisation des dépôts passent au premier plan des préoccupations.



ANNE
CLAUDEL

Cheffe de section gestion de l'information, Coopérative nationale pour la gestion des déchets radioactifs, Nagra

Organiser la Clay Conference en Suisse a été pour nous une expérience tout à fait stimulante et enrichissante. La conférence a déjà une longue histoire derrière elle et nous avons été très heureux de pouvoir bénéficier des conseils des organisateurs précédents, ONDRAF/NIRAS en Belgique et bien sûr l'Andra. En marge du programme scientifique, nous avons souhaité mettre un accent particulier sur la possibilité donnée aux participants de se rencontrer et d'échanger leurs expériences. L'espace de quelques jours, la station de Davos – où se déroule aussi le *World Economic Forum* – a ainsi été le théâtre de discussions fructueuses et très animées sur les usages de l'argile pour le stockage des déchets radioactifs.

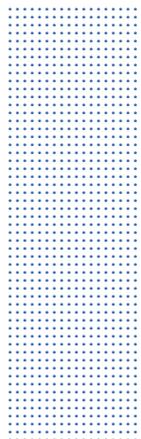
PARTICIPATION DE L'ANDRA À LA QUATRIÈME CONFÉRENCE INTERNATIONALE DES ENVIRONNEMENTAL SPECIMEN BANK (ICESB)

La quatrième conférence internationale des *Environmental Specimen Bank* (ICESB) s'est tenue du 2 au 4 octobre 2017 à Bilbao (Espagne). Cette conférence, organisée par l'université du Pays basque et la station marine de Pientzia, a rassemblé les banques d'échantillons environnementaux européennes. Les présentations ont illustré à la fois les approches techniques et méthodologiques de conservation, les enjeux de contrôle qualité et de métrologie ainsi que des exemples d'utilisation des échantillons bancarisés pour la surveillance environnementale des polluants métalliques, organiques et provenant des matières plastiques. Des applications de traçage de la dispersion des espèces invasives à travers

l'analyse rétrospective de l'ADN présent dans les échantillons cryogénisés ont également été présentées.

L'Andra qui a mis en œuvre une écothèque unique au monde par la diversité des échantillons environnementaux conservés, et située en Meuse/Haute-Marne dans le cadre de son Observatoire pérenne de l'environnement, a pu montrer ses réalisations et échanger au sujet de ses pratiques avec les autres participants.

L'Andra, avait été l'organisateur de la troisième ICESB en 2015 à Nancy, en partenariat avec l'université de Lorraine et OTELO (Observatoire terre environnement de Lorraine).



03

LA GOUVERNANCE SCIENTIFIQUE DE L'ANDRA

En 2017, l'Andra a sollicité son Conseil scientifique sur trois thématiques scientifiques particulièrement importantes pour la DAC (Demande d'autorisation de création) de Cigéo. Ont ainsi été soumis à l'avis du Conseil scientifique, les travaux de R&D de l'Andra sur :

- la zone endommagée des argilites en champ proche des ouvrages souterrains et le comportement différé des ouvrages ;
- les bases scientifiques du comportement thermo-hydro-mécanique du Callovo-Oxfordien ;
- la synthèse des paramètres hydrogéologiques des argilites du Callovo-Oxfordien : perméabilité à l'eau et emmagasinement spécifique.

Cette démarche sera poursuivie jusqu'au dépôt de la DAC en 2019.

En décembre 2017, le Conseil scientifique de l'Andra s'est réuni

pour la 100^e fois

Créé par le décret ministériel du 30 décembre 1992 relatif à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, le Conseil scientifique de l'Andra est composé de 12 membres au plus, nommés pour cinq ans.

Le Haut-Commissaire à l'Énergie atomique en est membre de droit. Le Conseil scientifique de l'Andra émet des avis sur la stratégie de recherche et développement, les programmes de recherche et les résultats présentés par l'Agence.



CHRISTIAN
FOUILLAC

Président du Conseil scientifique de l'Andra

En 2017, le Conseil scientifique de l'Andra a été fortement mobilisé sur les thématiques scientifiques et technologiques du projet Cigéo, et plus particulièrement au sujet du comportement hydraulique, thermique et mécanique du Callovo-Oxfordien.

Le Conseil scientifique salue la coopération indispensable et de plus en plus fructueuse entre la direction de la recherche et développement et la direction de l'ingénierie. Le Conseil scientifique a également pu constater la bonne insertion des ingénieurs de l'Andra dans les travaux de la communauté scientifique nationale et internationale.

À l'avenir, l'expertise scientifique du projet Cigéo va encore prendre de l'importance pour le Conseil scientifique, car le programme de travail de fin 2017 à mi-2019 sera exclusivement centré sur les problématiques scientifiques et technologiques identifiées comme fondamentales pour la DAC de Cigéo, en particulier sur les ouvrages de fermeture et les alvéoles HA.

04

L'ANDRA ET LE PUBLIC

**PARTICIPATION DE L'ANDRA AU FESTIVAL ET JURY
PARISCIENCE**

Partenaire du festival Pariscience (<https://pariscience.fr/>) depuis 2010, l'Andra a participé en 2017 à ce festival de films qui offrent un regard croisé science/cinéma, en présentant un court-métrage sélectionné à l'issue d'un concours lancé auprès de jeunes scientifiques passionnés d'audiovisuel.

Participation du doctorant Andra Mathieu Robineau à la compétition de courts-métrages Symbiose, organisée par le festival Pariscience dont l'Andra est partenaire.

Mathieu Robineau, doctorant Andra à l'université de La Rochelle, a participé à la compétition de courts-métrages Symbiose organisé par le festival Pariscience dont l'Andra est partenaire. Il a été associé à l'artiste réalisatrice Clara Thomine. C'est au musée d'Orsay qu'ils se sont rendus pour tenter d'expliquer le sujet de sa thèse en passant par l'art. Un objectif tenu en quelques minutes : un film simple et original qui permet à tous les publics de

comprendre les grandes lignes de son sujet d'étude : la corrosion de l'acier des conteneurs de stockage de déchets de haute activité (HA) dans le futur stockage géologique Cigéo.

**CONFÉRENCE FINALE DU PROGRAMME
INTERDISCIPLINAIRE ALLEMAND SUR LE MANAGEMENT
DE DÉCHETS RADIOACTIFS (ENTRIA 2013-2017)**

L'Andra a participé à la conférence finale ENTRIA qui s'est tenue du 26 au 30 septembre à Brunswick (Allemagne).



La thématique de cette conférence portait sur « la recherche sur la gestion des déchets radioactifs » à travers une approche interdisciplinaire considérant à la fois les aspects éthiques, sociétaux et technologiques.

Lors de cette conférence, l'Andra a présenté :

- ses réflexions sur le niveau de connaissance et de démonstration scientifique nécessaire et suffisant pour la mise en œuvre du stockage (*keynote lecture Research needs for implementing deep geological disposal: how good is good enough? –The French experience feedback*) ;
- ses travaux sur la réduction des incertitudes de Cigéo (approche quantitative, portant principalement sur le long terme), et leur qualification « politique » (approche pragmatique, intéressant plutôt le futur proche) (presentation *Addressing Future uncertainties in the French Cigéo project of geological disposal*).



VALÉRIE
RENAULD

Directrice de la communication et du dialogue avec la société

Les sciences font partie de l'ADN de l'Agence. L'une de nos missions est de les diffuser et de valoriser les travaux de nos scientifiques auprès de tous les publics : des scolaires aux étudiants en passant par les riverains de nos centres par exemple. Cela s'inscrit dans notre démarche d'ouverture, et se traduit par des opérations que nous souhaitons innovantes.

En 2017, nous avons par exemple participé à Binôme, un concept développé par la compagnie Les Sens des mots qui consiste dans la rencontre d'un auteur et d'un scientifique et qui débouche sur la création d'une pièce librement inspirée de leur entretien. C'est ainsi qu'est née la pièce de théâtre-fiction *500 mètres* qui a été jouée au Festival d'Avignon notamment.

En mars 2017, nous avons organisé avec *Usbek & Rica* une rencontre ouverte au public sur le thème de l'essor de la science ouverte. Frédéric Plas, directeur de la R&D à l'Andra, et trois invités – le journaliste Pierre Barthélémy, le producteur audiovisuel Cyril Pennec et le spécialiste de la biologie participative Thomas Landrain – étaient présents pour éclairer le débat.

Nous sommes également partenaire du festival Pariscience. Lors de la dernière édition, nous avons présenté le film *28, 78 ans*, un court-métrage que nous avons sélectionné dans le cadre du concours *Regard sur les déchets radioactifs*. Il s'agit d'un concours que nous organisons chaque année à destination des jeunes passionnés de sciences et d'audiovisuel, afin qu'ils portent un regard neuf sur nos sujets. L'un de nos thésards a également participé à la compétition de courts-métrages *Symbiose* qui associe un scientifique et un réalisateur pour réaliser, en 48 heures, une vidéo de quelques minutes.

Toujours avec l'un des doctorants de l'Andra, nous avons collaboré avec la chaîne YouTube *Dessine ta thèse* pour faire découvrir, de manière pédagogique, ses travaux sur la corrosion de l'acier des conteneurs de stockage de déchets de haute activité.

Les exemples sont nombreux et variés. Nous cherchons sans cesse à nous renouveler pour toucher de nouveaux publics et intéresser à nos sujets.

L'ANDRA EST PARTENAIRE DE SCIENTETIPS

L'Andra s'est associée au lancement de *Sciencetips*, la nouvelle newsletter gratuite de la société Artips. Objectif : démocratiser l'accès à la culture scientifique de manière simple et ludique. Chaque semaine, les abonnés à *Sciencetips* reçoivent par e-mail deux histoires scientifiques décalées. Rédigées et validées par des spécialistes, ces newsletters sont enrichies d'illustrations, de vidéos et/ou d'animations.

En 2017

2 588 visiteurs

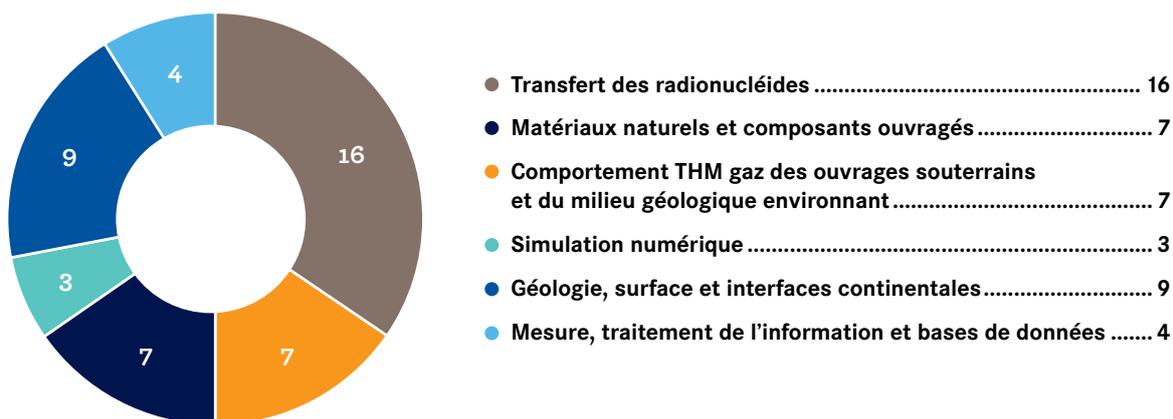
ont pu découvrir le Laboratoire souterrain de
l'Andra en Meuse/Haute-Marne

ANNEXES

Les publications

En 2017, l'Andra a contribué à la publication de 46 articles dans des revues de rang A, avec un *impact factor* moyen de 3,12.

LES PUBLICATIONS DANS DES REVUES DE RANG A PAR THÉMATIQUE SCIENTIFIQUE EN 2017



Brevets 2017 dans le domaine de la R&D

N°	Date de dépôt	Intitulé
FR 17 57806	22/08/2017	PROCÉDÉ ET INSTALLATION DE BÉTONNAGE D'UN SITE SOUTERRAIN
FR 17 61320	28/11/2017	SYSTÈME DE MESURES D'HYDROGÈNE FONDÉ SUR DES FIBRES OPTIQUES BIRÉFRINGENTES*
FR 17 61799	07/12/2017	CAPTEUR DE CONTRAINTE POUR OUVRAGE DE GÉNIE CIVIL
FR 17 61800	07/12/2017	CAPTEUR DE SUIVI DE LA CORROSION
FR 17 62404	19/12/2017	ROBOT D'INSPECTION AUTOMATISÉ POUR GALERIES DE STOCKAGE DE DÉCHETS RADIOACTIFS

* Déposé par le CNRS (inventeurs : Andra et CNRS).

Les thèses Andra soutenues en 2017

Matériaux naturels et composants ouvrages

- Influence de la corrosion du fer sur les processus d'altération du verre : approche analytique multi-échelle
Charly Carrière - Laboratoire LAPA du CEA de Saclay - soutenue le 13/11/2017

Comportement THM gaz des ouvrages souterrains et du milieu géologique environnant

- *Analysis of long-term closure in drifts excavated in Callovo-Oxfordien claystone : role of anisotropy and hydromechanical couplings* - **Eleni Stavropoulou** - Laboratoire 3SR de l'Université de Grenoble - soutenue le 10/11/2017

Simulation numérique

- *Improvement of the numerical capacities of simulation tools for reactive transport modeling in porous media*
Daniel Jara Heredia - Laboratoire Géosciences de l'Université de Rennes - soutenue le 21/06/2017

Surface et interfaces continentales

- Variabilité intra-annuelle de l'efficacité de production de biomasse aérienne (aBPE) d'une forêt, comparaison avec une prairie - **Laura Heid** - INRA de Nancy - soutenue le 6/12/2017

Sciences humaines et sociales

- Enfourer les déchets nucléaires dans un monde conflictuel – Une histoire de la démonstration de sûreté de projets de stockage géologique - **Lény Patinaux** - Centre Alexandre-Koyre de l'École des hautes études en sciences sociales - soutenue le 11/12/2017
- Gouverner par le temps. La gestion des déchets radioactifs en France, entre changements organisationnels et construction de solutions techniques irréversibles (1950-2014) - **Julie Blanck** - Centre de sociologie des organisations du CNRS - soutenue le 19/10/2017

Les membres du Conseil scientifique et des comités scientifiques spécialisés

Les membres du Conseil scientifique 2015-2020

Eduardo ALONSO Président de l'Université polytechnique de Catalogne (Espagne)

Philippe BEHRA Professeur des universités – École nationale supérieure des ingénieurs en arts chimiques et technologiques (ENSIACET) - Institut national polytechnique (INP) de Toulouse

Marc DEMARCHE Directeur général de l'ONDRAF (Belgique)

Cécile FERRY¹ Adjointe au chef de Programme aval du cycle, responsable du domaine « Gestion des déchets », à la Direction de l'Energie Nucléaire du CEA

Christian FOUILLAC Directeur de la Recherche du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) jusqu'en 2010
Président du Conseil scientifique

Gabrielle HECHT Professeure au département d'Histoire de l'Université de Stanford (États-Unis)

Isabelle HERLIN Directrice du centre de l'Inria Lille - Nord Europe

Yvan LAGADEUC² Professeur à l'Université de Rennes 1 au sein du laboratoire Ecosystèmes, Biodiversité, Evolution – ECOBIO

Philippe OLLAR³ Chef du département Matériaux et Mécanique des Composants - EDF R&D

Roger SALAMON Directeur honoraire de l'Institut de Santé Publique, d'Épidémiologie et de Développement (ISPED)

Jean-Michel TORRENTI Directeur du département Matériaux et structures de l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR)

Pierre TOULHOAT Directeur général délégué, directeur scientifique et directeur de l'Institut Carnot du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)

Yves BRECHET **Haut-Commissaire à l'Énergie atomique, membre de droit**

1. Nommée en mars 2018.

2. Nommé en mars 2018.

3. A démissionné en novembre 2017.

Les membres du comité d'orientation et de suivi du Laboratoire souterrain de recherche de Meuse/Haute-Marne (COS) 2015-2020		
Thématiques/Compétences	Noms	Eléments de CV
Géotechnique et génie civil	Michel DEFFAYET ¹	Directeur du CETU (Centre d'étude des tunnels)
Comportement thermo-hydro-mécanique des composants du stockage (milieu géologique et matériaux ouvragés)	Mehdi GHOREYCHI ²	Directeur scientifique de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS)
Géochimie (milieu géologique, matériaux)	Laurent MICHOT	Directeur de recherches au CNRS – Université Pierre et Marie Curie (UPMC), Vice-président du COS
Transferts de masse et de chaleur en milieu poreux et en milieu ouvert	Michel VANDENBEUSCH	Expert en hydrogéologie, ancien responsable « stockages » d'ANTEA
	Michel VAUCLIN	Directeur de Recherche au CNRS Président du COS
Géophysique	Frédérique FOURNIER	Directrice du centre E&P de IFP School
Géologie		
Instrumentation/capteurs/traitement des données	Pascal ROYER	Enseignant-chercheur à l'Université Technologique de Troyes
	Franck SCHOEFS	Professeur à l'Université de Nantes
Génie mécanique et génie nucléaire (Manutention/transfert/conception des colis de stockage)	Philippe VELUT	Ancien chef de projet et coordinateur d'études AREVA NP
Gestion des laboratoires souterrains	Paul BOSSART	Directeur du consortium international « Mont Terri Project »

1. Nommé en février 2017.

2. A démissionné en mai 2017.

Les membres du COS-OPE de 2015 à 2020

Thématiques/Compétences	Noms	Éléments de CV
Atmosphère	Gilles BERGAMETTI	Directeur de recherche au CNRS
Géochimie Hydrologie	Jérôme GAILLARDET	Professeur à l'Institut de physique du globe de Paris
Hydrogéologie	Frédéric DELAY	Professeur à l'Université de Strasbourg
Agronomie Science du sol	Marc VOLTZ	Directeur de recherche à l'Institut national de la recherche agronomique (INRA)
Écologie Hydrologie	Yvan LAGADEUC	Professeur à l'Université de Rennes 1 Président du COS-OPE
Écologie (biodiversité)	Nathalie MACHON	Professeure au Muséum d'histoire naturelle de Paris
Géochimie	Frédéric VILLIERAS	Directeur de recherche au CNRS Vice-président du Conseil scientifique de l'Université de Lorraine

Les membres du COESDIC

Bernadette BENSAUDE-VINCENT	Philosophe et professeure émérite à l'Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne
Anne BERGMANS	Sociologue, Université d'Anvers (Belgique)
Pierre-Benoît JOLY	Économiste et sociologue, directeur de recherche à l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) - Président du COESDIC
Saida LAAROUCHI-ENGSTRÖM	Senior adviser de SKB (Suède)



**AGENCE NATIONALE
POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS**

1-7, rue Jean Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex
Tél. : 01 46 11 80 00

www.andra.fr