

RAPPORT D'ACTIVITÉ R&D 2015



Le développement des stockages pour la gestion à long terme des déchets radioactifs doit être fondé sur des connaissances scientifiques et technologiques solides afin de répondre de manière rigoureuse aux besoins de conception, d'exploitation, d'observation/surveillance et de sûreté. Ces connaissances sont notamment acquises par des travaux de R&D tout au long de la vie des stockages depuis leur conception jusqu'à leur exploitation et leur fermeture. Le caractère progressif du développement des stockages sur plusieurs dizaines d'années, voire le siècle pour le projet Cigéo, permet ainsi leur optimisation et l'intégration des progrès continus de connaissances.

La R&D de l'Andra couvre un vaste espace de domaines scientifiques et technologiques. Elle s'appuie notamment sur des outils de recherche uniques développés par l'Andra : des outils de simulation numérique adaptés à la problématique des stockages et plus particulièrement du projet Cigéo, le Laboratoire souterrain de recherche et l'Observatoire Pérenne de l'Environnement avec son Écothèque, en Meuse/Haute Marne. En ce qui concerne les déchets, la R&D est menée en étroite collaboration avec les producteurs.

Portée à l'Andra par le travail collectif des équipes scientifiques et de l'ingénierie, cette R&D est mise en œuvre par des organismes de recherche, en particulier académiques, reconnus dans leur domaine tant en France qu'à l'étranger : les résultats obtenus sont le fruit de leur excellence, de leur capacité d'innovation et de leur indépendance ; ils sont le gage d'une gestion responsable de l'Andra, établissement public au service de la nation et contribuant aux enjeux sociétaux et environnementaux en matière de gestion des déchets radioactifs en France.

Je suis ainsi très heureux de l'édition de ce premier rapport d'activité de la R&D 2015. Sa forme vise à donner une image de la diversité des sujets de recherche de l'Andra et de l'excellence et du caractère innovant des travaux menés. Nous avons aussi voulu donner, au travers d'interviews, une place importante aux acteurs de la recherche dont l'engagement et la rigueur scientifique sont les ferments sur lesquels l'Andra fonde sa gestion responsable des déchets radioactifs.

Je vous en souhaite une bonne lecture et je vous invite en tant que de besoin à prendre contact avec nos équipes pour répondre à toutes vos questions.

Pierre-Marie Abadie
Directeur général de l'Andra

ÉDITO

L'année 2015 est une année riche pour la direction de la recherche et développement (DRD), garant scientifique en appui opérationnel aux développements progressifs des stockages et de la filière. Tout d'abord, durant cette année 2015, la DRD a largement contribué au dossier d'options de sûreté après fermeture (DOS-AF) de Cigéo, ainsi qu'au rapport d'étape FA-VL 2015 et au ré-examen de sûreté du Centre de stockage de l'Aube (CSA). Ces travaux ont en particulier été réalisés dans le cadre des nouveaux groupements de laboratoires (GL) progressivement mis en place au cours de l'année.

Pour Cigéo, ces travaux ont porté par exemple sur le comportement thermo-hydro-mécanique des alvéoles HA, sur la corrosion des composants métalliques des alvéoles HA, sur la modélisation de la zone endommagée des argilites autour des ouvrages en lien avec le dimensionnement des soutènements/revêtements des ouvrages dans l'argilite du Callovo-Oxfordien, sur le comportement hydromécanique des noyaux de scellements et le comportement chimique et chemo-mécanique des bétons bas pH des massifs d'appui des scellements, sur le transfert et le comportement des radionucléides dans les environnements complexes du stockage, ou encore sur le développement d'outils de monitoring adaptés aux installations fond de Cigéo ainsi que sur la gestion et le traitement des données. L'acquisition des données pour les différents compartiments environnementaux suivis dans le cadre de l'OPE a également été poursuivie en 2015.

Pour FA-VL, ces travaux ont quant à eux essentiellement porté sur la reconnaissance des argiles tégulines. Les données acquises dans ce cadre ont permis de construire un référentiel de connaissances du site de la communauté de communes de Soulaines et d'élaborer un premier modèle conceptuel du milieu géologique. Par ailleurs, en lien avec les producteurs, un bilan des connaissances acquises sur les déchets de graphite issus des réacteurs UNGG a été réalisé.

Enfin, pour les centres de surface, des études importantes pour les démonstrations de sûreté des centres ont été réalisées. La collaboration avec la direction de l'ingénierie pour bon nombre de ces travaux de recherche s'est révélée fructueuse, créant une dynamique opérationnelle qui répond aux nouveaux enjeux de l'Agence.

La communauté scientifique a été largement sollicitée en 2015 avec la mise en place des nouveaux GL, le renouvellement de deux partenariats importants (BRGM et Ineris), le renouvellement de la chaire industrielle de l'Ecole des Mines de Nantes, la coordination de projets européens, la première édition de l'appel à projets sur l'optimisation de la gestion des déchets de démantèlement et l'appel à projets de thèses annuel.

2015 est enfin une année d'évolution de la gouvernance scientifique, avec le renouvellement du Conseil Scientifique en février, du Comité d'orientation et de suivi du Laboratoire souterrain (COS) en avril et la création, en juillet, d'un nouveau comité : le comité d'orientation et de suivi de l'OPE (COS-OPE).

Frédéric Plas
Directeur de la recherche et développement



La Direction de l'ingénierie (DDI) a été créée en septembre 2015 afin d'optimiser l'emploi des compétences des ingénieurs de l'Andra qui travaillent et évaluent les choix techniques des divers projets de l'agence. La DDI couvre ainsi une gamme de métiers très large allant de l'ingénierie mécanique au génie civiliste, en passant par l'ingénierie système et le chiffrage des projets.

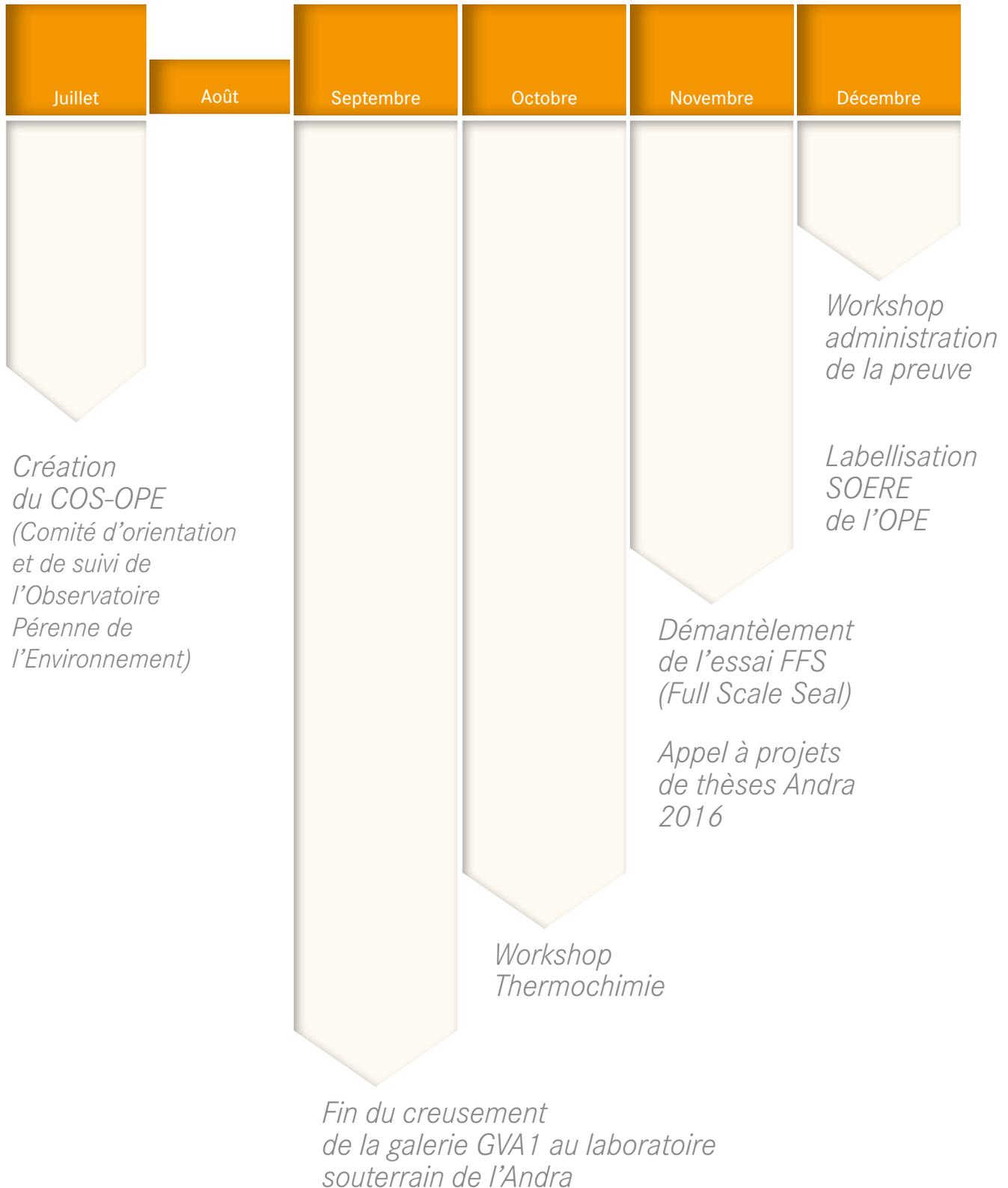
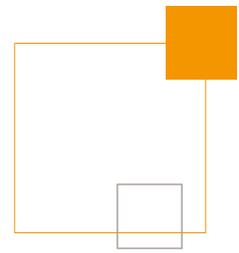


Le spectre de ses missions est vaste et couvre notamment la fonction de garant technique sur les composants du stockage où l'Andra est la mieux placée pour guider leur conception ou en assurer la maîtrise d'œuvre de conception (ex : conteneurs de stockage), le pilotage du programme d'essais technologiques et la mise à disposition des ressources nécessaires aux projets. Notre collaboration avec la direction de la Recherche et du Développement (DRD) est essentielle pour effectuer au mieux ces missions. Il est en effet inconcevable de prévoir un démonstrateur de faisabilité technique d'un alvéole HA au laboratoire du CMHM sans acquérir aussi des données essentielles autour du fonctionnement attendu – durabilité, récupérabilité sur toute la durée d'exploitation du stockage – et donc sans y intégrer un programme d'essais scientifiques complet. De même, dans l'analyse technique des études produites par les maîtrises d'œuvre ou encore dans la transmission d'exigences applicables au projet, la collaboration DDI-DRD est essentielle et participe très largement à la réussite des projets. Depuis sa création, la DDI a également assisté techniquement la DRD dans la réalisation de ses travaux scientifiques comme par exemple dans les divers programmes de reconnaissances géologiques menés au sein de l'agence.

Nous mesurons au quotidien les bénéfices de cette collaboration et la dimension tout à fait exceptionnelle qu'elle offre à notre métier d'ingénieur car travailler main dans la main avec nos collègues scientifiques est un mode de travail peu courant à cette échelle en France.

Marc Leguil
Directeur de l'ingénierie

DE LA R&D EN 2015





1. La R&D au service des projets et activités de l'Andra

7

Vers le développement industriel de Cigéo 7

Les grands résultats de la R&D pour une étape clé du projet FA-VL 14

Une R&D au service de la maîtrise du fonctionnement des centres de surface 16

2. L'Andra et la communauté scientifique

19

Une communauté scientifique fortement mobilisée 19

Des thèses pour contribuer à la R&D de l'Agence 22

Un investissement dans des projets d'envergure 24

Une présence soutenue dans les conférences et workshops 26

3. La restructuration de la gouvernance scientifique de l'Andra

29

Renouvellement du conseil scientifique 29

Comités scientifiques spécialisés : renouvellement, création et stabilité 30

Annexe

32

La R&D au service des projets et activités de l'Andra

VERS LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL DE CIGÉO

2015, une année de contribution au dossier d'options de sûreté après fermeture de Cigéo en préparation à la demande d'autorisation de création (DAC), alimenté par plus de vingt ans de travaux scientifiques et techniques régulièrement évalués. Une année également importante pour le dimensionnement des ouvrages de Cigéo (galeries, ouvrages de fermeture) avec des essais majeurs dans le Laboratoire souterrain de l'Andra, et une année structurante pour le suivi de l'environnement.

LA CONTRIBUTION DE LA R&D AUX DOSSIERS D'OPTIONS DE SÛRETÉ

La capitalisation de plusieurs années de progrès en connaissances scientifiques et en simulation numérique pour le traitement quantitatif des scénarios de sûreté (évolution normale et évolution altérée) dans le cadre du dossier d'options de sûreté après fermeture (DOS-AF) de Cigéo

L'année 2015 a vu une forte mobilisation de la Direction de la recherche et développement (DRD) pour la préparation du dossier d'options de sûreté après-fermeture (DOS-AF) de Cigéo, qui a été remis à l'Autorité de sûreté nucléaire en 2016. Des travaux qui ont porté, d'une part, sur la démonstration de la maîtrise des performances allouées aux composants du stockage et du milieu géologique en regard de l'état des connaissances scientifiques et technologiques, et, d'autre part, sur la quantification des impacts radiologiques relatifs au traitement quantitatif des scénarios de sûreté (évolution normale et altérée), grâce à la mise en œuvre de simulations numériques.

Dans ce cadre, l'année 2015 a été un moment privilégié pour capitaliser les connaissances scientifiques acquises depuis de nombreuses années. En lien avec les progrès scientifiques qui en

découlent (mécanismes, processus, données), la DRD a également proposé une description encore plus fine de l'évolution phénoménologique du stockage et du milieu géologique, jusqu'au million d'années. À commencer par la prise en compte de modèles de relâchement encore plus détaillés pour les différents identifiants de colis Cigéo, en prenant en compte de manière très fine les conditions d'environnement physico-chimique, une meilleure connaissance sur la rétention des radionucléides et les paramètres de transfert en conditions non saturées dans les matériaux cimentaires.

La DRD a également travaillé sur une quantification (espace/temps) plus détaillée de processus comme les perturbations chimiques de toutes natures (organiques, salines, oxydantes, alcaline..) et de leurs conséquences sur le transfert des radionucléides, le comportement transitoire thermo-hydro-mécanique des argilites du Callovo-Oxfordien dans les quartiers HA, le comportement hydromécanique des ouvrages de fermeture et de la zone endommagée (processus de cicatrisation hydraulique) ou encore le transitoire de désaturation/resaturation du stockage en lien avec la production d'hydrogène par radiolyse et la corrosion des composants métalliques.

Guillaume Pépin

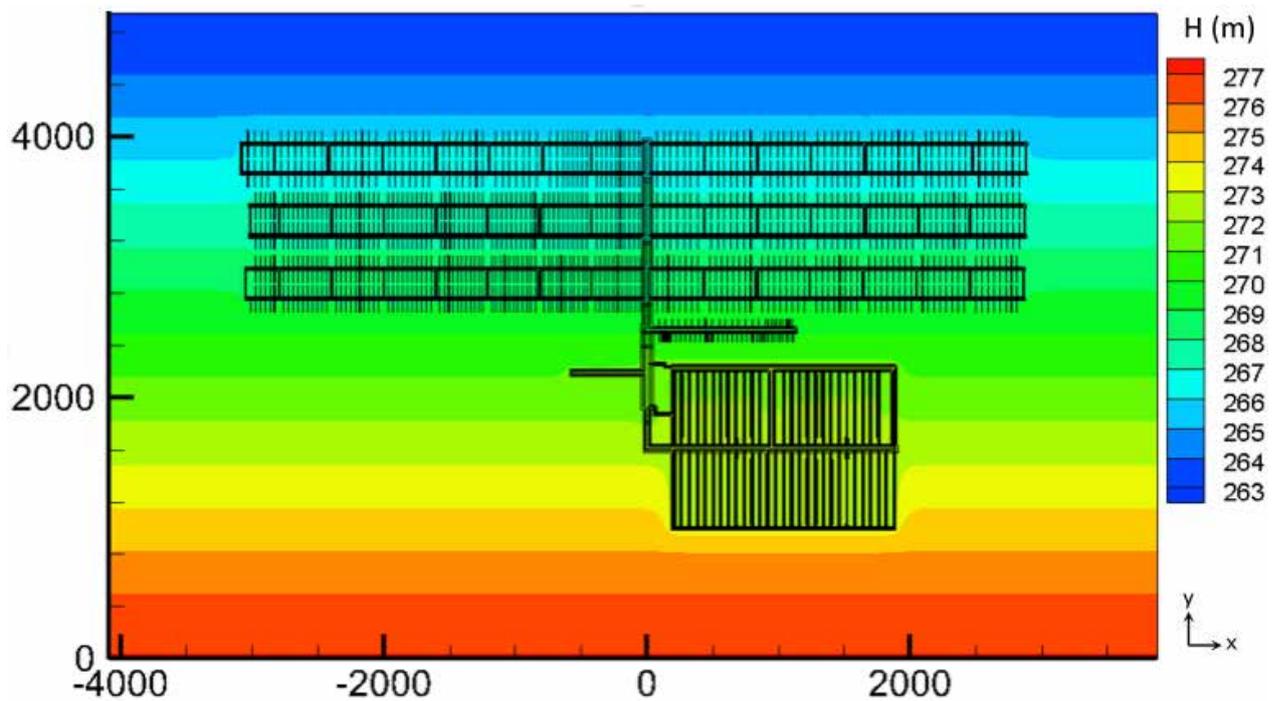
Chef du service Evaluation et Analyse de Performance

Direction de la recherche et développement



L'acquisition et l'amélioration continue des connaissances scientifiques depuis le Dossier 2005 (campagnes de reconnaissances, expérimentations jour/fond précisant et consolidant les processus et données, progrès en simulation numérique et en capacités de représentation...) ont permis de quantifier de manière plus fine le fonctionnement phénoménologique du stockage et du milieu géologique environnant sur des grandes échelles de temps.

Cette base de connaissances consolidée et précisée a largement contribué à supporter la démarche d'évaluation de sûreté du DOS-AF, dans une logique plus phénoménologique, et a ainsi permis un traitement quantitatif des scénarios de sûreté encore plus intégré et détaillé, associé à une évaluation fine des marges de sûreté.



Champ de charge hydraulique dans un plan horizontal traversant les ouvrages de stockage Cigéo

Enfin, la DRD s'est attachée à réaliser une description plus fine des conditions d'écoulement des eaux dans les formations géologiques encaissantes sus et sous-jacentes au Callovo-Oxfordien, depuis l'actuel jusqu'au prochain million d'années. Ces travaux ont intégré une quantification systématique des incertitudes, sur les modèles et les paramètres, afin de définir des domaines de fonctionnement phénoménologique qui ont été exploités pour l'Analyse qualitative de sûreté (AQS), support à la définition des scénarios de sûreté en après-fermeture.

En parallèle des évolutions en connaissances scientifiques, l'année 2015 a également été caractérisée par des progrès en simulation numérique issus des travaux menés ces dernières années, notamment grâce au partenariat avec Inria. Ils permettent aujourd'hui des représentations plus intégrées et détaillées, en termes de composants, de géométrie et de processus physico-chimiques. Ces progrès se sont inscrits dans la dynamique du calcul haute performance, avec le développement et l'amélioration de codes de calcul permettant une résolution efficace et robuste de gros systèmes linéaires de plusieurs dizaines de millions de mailles (Traces, Porflow) ou fortement non linéaires (Tough2_MP, Phast) avec des temps de calcul raisonnables (plusieurs heures à quelques jours).

Afin d'accroître plus encore la confiance dans les résultats obtenus, ces progrès en simulation se sont accompagnés d'une gestion rigoureuse de la mise en œuvre des évaluations en termes de traçabilité, de vérification, de sensibilité aux paramètres numériques, de benchmarks ainsi que d'intégration au sein d'un même environnement de toutes les composantes d'une simulation numérique (données physiques, géométriques, numériques, outils de pré et de post-traitement, codes de calcul).

Exploitant l'ensemble des différents progrès, la Direction recherche et développement a conceptualisé physiquement et numériquement les différents scénarios de sûreté, permettant une quantification fine du relâchement et du transfert de solutés depuis les colis de déchets jusqu'aux exutoires naturels. Une démarche fondée sur un enchaînement de compartiments de calcul agencés en séquence, avec une quantification d'indicateurs intermédiaires permettant ainsi de vérifier que les fonctions de sûreté du stockage sont satisfaites et de mesurer le poids respectif des différents composants, du système de stockage en termes d'atténuation ainsi que du retard du flux de radionucléides pour chaque voie de transfert (formation argileuse hôte du Callovo-Oxfordien et/ou ouvrages de stockage).

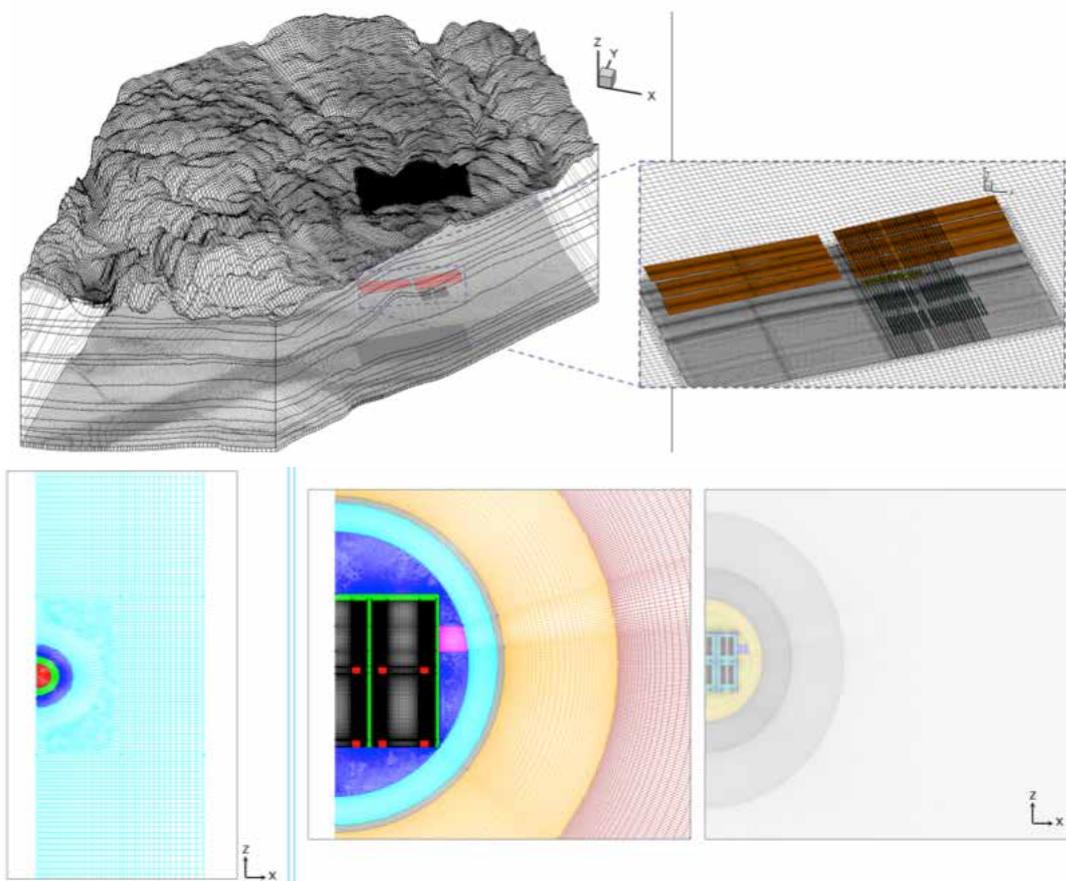
Le modèle conceptuel du stockage au sein du Callovo-Oxfordien comprend ainsi les différents composants ouvrages du stockage (galeries, alvéoles de stockage, ouvrages de fermeture) et le maillage mis en œuvre, d'une taille de l'ordre de 30 millions d'éléments, qui différencie donc chaque type d'alvéole de stockage, son positionnement dans les quartiers et son comportement phénoménologique propre. Le modèle conceptuel des écoulements et du transfert de solutés du milieu géologique, construit et mis en œuvre, reproduit fidèlement la géométrie et la piézométrie observée sur le site de Meuse/Haute-Marne (cf. figures ci-après).

La mise en œuvre des évaluations de sûreté a été réalisée en propre à l'Andra sur son cluster de calcul (600 nœuds exploitables en parallèle). Plusieurs milliers de calculs bi et tri-dimensionnels ont été réalisés pour les différents radionucléides de l'inventaire Cigéo ainsi que les différents scénarios (évolution normale, évolution altérée et What-if « dysfonctionnement des ouvrages de fermeture », « intrusion humaine », « défaut de conteneur HA ») dans des situations de référence

(correspondant à un ensemble d'hypothèses et de données s'appuyant sur la meilleure connaissance scientifique et technique disponible, dans une logique « best-estimate »), et enveloppe (correspondant aux bornes les plus conservatives des hypothèses et des données, et à partir des exigences applicables à Cigéo).

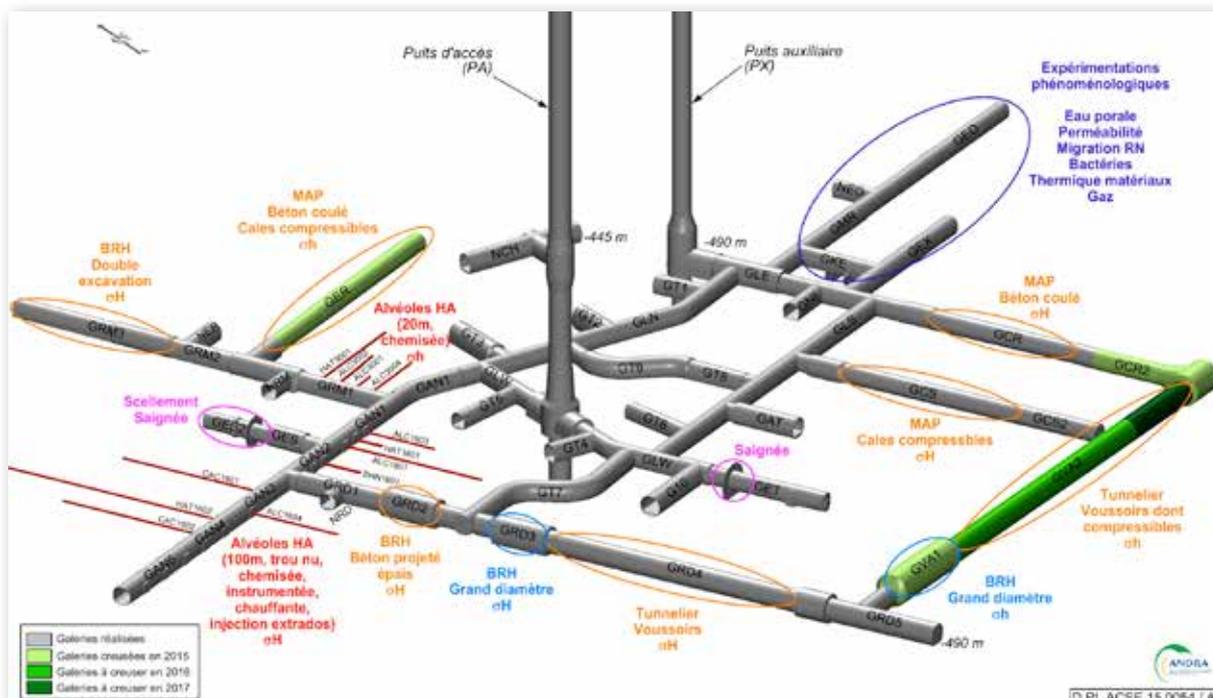
À titre d'exemple, en scénario d'évolution normale, les résultats des différentes évaluations confirment notamment le rôle majeur du Callovo-Oxfordien dans la sûreté, dans toutes les situations étudiées, du fait de ses propriétés remarquables (faible perméabilité et gradient de charge hydraulique) telles que caractérisées dans le Laboratoire souterrain et dans l'ensemble des travaux de reconnaissance à l'échelle du site (forages, sismiques 2D/3D).

Comme pour le Dossier 2005, les radionucléides pilotant l'impact radiologique sont ceux mobiles et à vie longue, l'Iode 129, le Chlore 36 et le Sélénium 79, et l'impact radiologique reste très en deçà de l'objectif de dose du guide ASN 2008.



Exemples de maillages du milieu géologique et des alvéoles de stockage HA et MAVL

LA DÉMONSTRATION DU CREUSEMENT D'OUVRAGES PROCHES DE CEUX DE CIGÉO



Le Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne



Gilles Armand

Chef du service Mécanique des Fluides et des Solides
Direction de la recherche et développement

Depuis 2002, nous étudions, au niveau principal du Laboratoire souterrain, le comportement hydromécanique dans le temps d'ouvrages souterrains de différentes tailles, construits suivant différentes méthodes de revêtement/soutènement et orientés différemment par rapport au champ de contraintes mécaniques horizontales naturelles.

Notre objectif premier est, d'une part, d'évaluer la constructibilité et, d'autre part, de comprendre, de modéliser et de quantifier les mécanismes de déformation dans le temps, afin, in fine, de contribuer au choix des solutions de construction qui seront mises en œuvre dans Cigéo. 2015 a été une année importante avec la réalisation de la galerie GVA1, première galerie de grand diamètre (9 mètres) construite dans le Laboratoire souterrain et semblable aux galeries envisagées dans Cigéo. Orientée suivant la contrainte horizontale mineure, la galerie GVA1 a été creusée au brise roche hydraulique et en deux phases (partie supérieure puis partie inférieure). Sa réalisation et les quelques mois d'observation nous apportent déjà des enseignements importants. Le premier est que l'on est capable de creuser sans difficulté majeure un ouvrage d'une telle taille. Le second que les processus hydromécaniques observés dans la roche (déformations, fracturation induite par le creusement, variation de pression interstitielle,...) sont similaires à ceux observés pour les galeries de plus petite taille. Cela nous conforte dans notre niveau de compréhension et de maîtrise du comportement de la roche et dans notre capacité à extrapoler des données acquises dans le Laboratoire aux ouvrages du projet Cigéo.

Le creusement de la Galerie GVA1 dans le cadre de l'expérimentation Galerie Grand Diamètre (GGD) au Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne : première démonstration de la taille d'une section de Galerie en Grand Diamètre en deux phases (1/2 supérieure puis 1/2 inférieure)

L'expérimentation GGD (Galerie Grand Diamètre), réalisée dans les tronçons GRD3 et GVA1 des galeries GRD (Galerie de Recherche et Développement) et GVA (Galerie Voussoirs Anisotropes) a pour objectifs (i) de caractériser la zone fracturée autour d'un ouvrage de grande taille, (ii) de caractériser le comportement mécanique d'un ouvrage de grande taille, (iii) d'étudier l'effet d'échelle sur le comportement mécanique et la fracturation (densité, extension...) en comparant les résultats de l'expérimentation GGD avec ceux obtenus pour des ouvrages de plus petits diamètres, dans le cadre d'autres expérimentations en Laboratoire souterrain.

La galerie GVA (Galerie Voussoirs Anisotropes) est orientée selon la contrainte principale mineure (σ_1) et est perpendiculaire à la galerie GRD orientée selon la contrainte principale majeure (σ_2).



Avant le début du creusement, des forages extensométriques et de mesures de pression ont été mis en place depuis la galerie GRD (Mine by test). Le creusement de la galerie GVA1 a débuté le 5 janvier 2015 et s'est achevé le 9 septembre 2015. Cette galerie a un diamètre de 9 mètres et a été creusée en deux phases : d'abord la calotte (partie supérieure), puis le stross (partie inférieure). Le soutènement est assuré par 51 cintres. Cette galerie a une longueur de 39 mètres.

Les phénomènes observés ont été comparés aux observations réalisées pour une galerie de 5 mètres de diamètre :

L'endommagement et les phénomènes hydromécaniques observés lors du creusement de la galerie GVA1 de 9 mètres de diamètre sont de même nature et du même ordre de grandeur en termes d'intensité que ceux observés lors du creusement d'une galerie de 5 mètres de diamètre :

- La nature et la structuration 3D de la fracturation sont similaires à celles observées autour de galeries de diamètre plus petit ;
- Toutes choses égales par ailleurs, les mesures disponibles indiquent que les extensions verticale (au radier) et horizontale de la fracturation autour de la galerie GVA1 sont respectivement plus petite ($0.3 \times D$ au lieu $0.8 \times D$ en moyenne) et plus élevée ($0.50 \times D$ au lieu de $0.2 \times D$ en moyenne) que celles mesurées dans des galeries de plus petit diamètre. Cette différence semble plus être due au creusement en deux passes de la galerie GVA1 qu'à l'augmentation du diamètre : des forages supplémentaires à venir doivent permettre de valider ou non ces premières mesures.

La réponse hydromécanique est similaire à celle observée pour des galeries de plus petit diamètre : les variations de pression interstitielle sont importantes avec horizontalement une augmentation significative de la pression interstitielle suivie d'une chute de pression.

LES OUVRAGES DE FERMETURE DU STOCKAGE

Le développement et le comportement des bétons bas pH des massifs d'appui

Les ouvrages de fermeture de Cigéo (alvéoles, galeries, liaisons surface-fond) sont constitués d'éléments dont les fonctions sont hydrauliques. Un noyau en argile (gonflante) assure la performance hydraulique. Il est mécaniquement contraint par deux massifs d'appui en béton qui doivent assurer lors de la phase de saturation le maintien d'un volume constant pour le noyau, permettant ainsi le développement de la pression de gonflement de l'argile.

Du fait des interactions chimiques entre bétons et argiles, il a de longue date été décidé d'utiliser des matériaux cimentaires spécifiquement formulés de manière à minimiser les interactions chimiques entre les massifs d'appui et les matériaux argileux, que ce soit le milieu géologique ou le noyau en argile gonflante.

L'ensemble des développements sur les bétons bas pH permet aujourd'hui de disposer de deux formulations « de référence » (formulation dites TCV « mélange Ternaire aux Cendres Volantes » et TL « mélange Ternaire aux Laitiers de hauts fourneaux »), sur la base desquelles deux formulations supplémentaires ont été définies, permettant de couvrir tous les besoins en relation avec les différents modes possibles de mise en place : bétons pompés, auto-plaçant ou projeté. Les caractéristiques physiques des bétons TCV, TL et auto-plaçant, sont très proches les unes des autres. Les écarts ou les différences de composition, ne rendent pas ces matériaux différents d'un point de vue physique. En raison de propriétés mécaniques très proches, les propriétés hydrauliques (perméabilité, diffusion) de ces bétons sont dans la même gamme de valeurs. Le béton projeté reste plus spécifique du point de vue de ses propriétés physiques, du fait de son mode de mise en œuvre.

Ces bétons sont formulés pour être des « bas pH » de manière à présenter une réactivité chimique la plus limitée possible vis-à-vis des matériaux argileux dans leur ensemble. La plage de variation de pH obtenue se situe entre 10,3 et 10,8 au-delà de deux ans de maturation.

La mise en œuvre à grande échelle et en situation de stockage est réalisée dans le cadre de l'expérimentation BBP (Béton Bas PH), pour ce qui est du suivi du comportement et de la validation du modèle de comportement THM (encore en cours à fin 2015), et de l'essai FSS (Full Scale Seal), pour ce qui est des caractérisations physiques et chimiques des deux bétons.



Jean-Michel Bosgiraud
Responsable essais technologiques
Direction de l'ingénierie

L'essai FSS (Full Scale Seal) est un essai de construction à pleine échelle, représentatif d'un scellement horizontal de Cigéo dans l'unité argileuse (UA) du Callovo-Oxfordien (COX).

Cet essai a été engagé à la demande des évaluateurs, afin de démontrer la faisabilité industrielle du concept d'ouvrage de fermeture envisagé par l'Andra. Il a été mené à bien dans le cadre du projet européen DOPAS (Demonstration of Plugs and Seals), de 2013 à 2015.

Sa réalisation s'est effectuée en surface dans une maquette de galerie de 35 mètres de long et de 10 mètres environ de diamètre (représentative d'une portion de galerie de Cigéo) en trois temps : construction d'un massif d'appui amont en béton bas pH autoplaçant, puis d'un noyau d'argile gonflante (mélange de pellets et de poudre de bentonite du Wyoming) et enfin d'un massif d'appui aval en béton bas pH projeté. Au terme de l'essai, une déconstruction de l'ouvrage « intelligente » a permis (par sciage au câble), d'investiguer en profondeur la qualité des massifs d'appui en béton.

La constructibilité d'un scellement horizontal est aujourd'hui acquise. De nombreux enseignements techniques et logistiques ont été tirés de cet essai : sur le choix des matériaux constitutifs du scellement, leur mise en œuvre et les performances techniques recherchées, ainsi que sur les temps et dispositifs opérationnels requis pour un travail de même nature en ouvrages souterrains.

Un travail scientifique sur le comportement du matériau bentonitique constitutif du noyau d'argile gonflante vient compléter cet essai technologique : un essai de resaturation de ce mélange pulvérulent sur un volume métrique (essai REM) est engagé sur une période estimée à 20 ans environ.

L'expérimentation de scellement à pleine échelle FSS « Full Scale Seal »

Cet essai, conçu en 2012 et initié au premier semestre 2013, avait pour principal objectif de démontrer la constructibilité, à l'échelle 1, d'un scellement horizontal conforme au concept de scellement considéré pour Cigéo. Il est constitué d'un noyau d'argile gonflante (750 m³ en pellets de bentonite) et de massifs d'appuis en béton bas pH (10,5 à 11), de part et d'autre du noyau (250 m³ chacun).

Cet essai, réalisé en atelier en surface à Saint-Dizier (52), a permis de tester des moyens industriels de construction à l'aide de technologies éprouvées et de déterminer et qualifier les moyens de contrôle permettant de s'assurer de la conformité du scellement ainsi construit. La saturation du matériau de remplissage du noyau de bentonite ne faisait pas partie de l'essai mais est étudiée par ailleurs dans l'expérimentation REM « Restauration à l'Echelle Métrique », menée à l'Espace technologique de Saudron.

À l'automne 2015, une « déconstruction intelligente » des massifs d'appui en béton bas pH a été réalisée (carottages, puis sciages au câble diamanté transversal et longitudinal, observation des fronts de découpes) afin d'évaluer l'état des bétons en pleine masse.

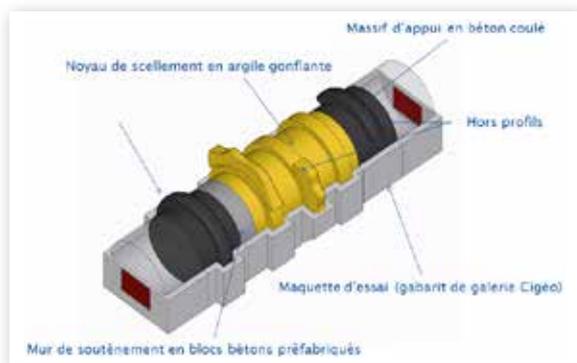
Cet essai constitue un retour d'expérience riche en enseignements : la faisabilité industrielle de construction d'un scellement horizontal dans Cigéo est démontrée ; le béton bas pH autoplaçant a un comportement satisfaisant, le béton projeté bas pH doit de préférence être réservé à des utilisations plus localisées et à des volumes mis en œuvre plus réduits.

Le massif d'appui amont en béton bas pH autoplaçant a satisfait l'ensemble des exigences spécifiées : (i) température d'hydratation inférieure à 50 °C, (ii) retrait inférieur à 350 µm/m, (iii) massif très homogène et sans fissuration significative, (iv) propriétés mécaniques homogènes.

Le noyau de bentonite construit a les caractéristiques suivantes : (i) densité 1,48 g/cm³ (proche de l'objectif initial), (ii) bonne homogénéité globale, (iii) remplissage incomplet de la zone sommitale proche du mur de soutènement du noyau.



Catherine Galy
Chef du service Géologie
et Environnements de Surface
Direction de la recherche et développement



Le massif aval en béton bas pH projeté montre un comportement différent de celui du massif amont coulé : (i) une température maximale supérieure à 50 °C (mais néanmoins inférieure à 70 °C), (ii) un retrait parfois supérieur à 350 µm/m, (iii) une difficulté à assurer une cohésion entre des couches de béton lors de la projection et (iv) une variabilité spatiale significative des propriétés mécaniques *in fine*.

L'OPE AU SERVICE DU SUIVI DE L'ENVIRONNEMENT

L'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE), dispositif mis en place en 2007, permet à l'Andra d'établir un « état des lieux » de l'environnement aux alentours de Cigéo et de surveiller son évolution pendant toute la durée de son exploitation. En 2015, l'OPE s'est appuyé sur différents outils afin de remplir sa mission.

La labellisation SOERE de l'Observatoire Pérenne de l'Environnement (OPE)

Après une première labellisation reçue en 2010 pour cinq ans, l'OPE a été à nouveau labélisé SOERE (Système d'observation et d'expérimentation au long terme pour la recherche en environnement), fin 2015, par l'Alliance nationale de recherche pour l'environnement (Allenvi).

Cette labellisation est une marque de reconnaissance par la communauté scientifique académique quant à l'excellence des dispositifs de l'OPE et des observations réalisées ; elle souligne par ailleurs le caractère innovant d'un tel observatoire,

Bien avant la création de toute installation de Cigéo et au-delà des exigences en matière de surveillance de l'environnement, l'Andra a souhaité mettre en place un outil unique pour observer l'évolution de l'environnement autour de Cigéo (jusqu'à 900 km²) et en garder la mémoire : l'Observatoire Pérenne de l'Environnement, ou OPE, créé en 2009. Les observations y sont conduites selon des approches pluri-milieux (forêt, prairie, culture), pluridisciplinaire (biodiversité, atmosphère, eau, sols, évolution socio-économique) et multifactorielle (analyses physiques, chimiques, radiologiques et biologiques) à l'aide d'un ensemble complet de dispositifs de mesure dont notamment une station atmosphérique. L'accent a été mis, en outre, sur l'intégration de ces dispositifs dans les réseaux nationaux ou internationaux de recherche en environnement, et sur la collaboration avec des partenaires scientifiques reconnus (INRA, CNRS, LNE, Météo France par exemple).

En 2015, la labélisation de l'OPE par l'agence Allenvi dans le cadre des dispositifs SOERE et son intégration dans le réseau Européen ICOS (écosystème et atmosphère) viennent couronner les travaux que nous avons menés avec le concours de notre conseiller aux affaires académiques Ary Bruand et confortent la pertinence et la qualité des observations mises en place. L'utilisation de protocoles normés au sein des réseaux, permet, outre la validation des données acquises, une inter-comparaison des données à des échelles spatiales variées (locales, régionales, nationales et internationales). Cette capacité nous aidera à discriminer les impacts anthropiques globaux, des impacts réels du projet Cigéo.

Outil scientifique se projetant sur la durée d'exploitation séculaire de Cigéo, l'OPE apporte néanmoins déjà sa contribution à Cigéo. Depuis 2011, les travaux menés permettent de caractériser l'état initial de l'environnement et l'OPE contribue ainsi à l'étude d'impact qui accompagnera la demande d'autorisation de création de Cigéo à l'horizon 2018.

Parmi l'ensemble des dispositifs scientifiques de l'OPE, il en est un particulier et exceptionnel : l'Écothèque. Mise en exploitation début 2014, l'Écothèque est le lieu de conservation de la mémoire de l'environnement : des échantillons de natures diverses (sols, végétaux, miel, lait...) y sont et y seront conservés suivant différentes techniques (cryogénie, à sec...). Avec la mise en service de la salle blanche dès cette année, les échantillons conservés en cryogénie peuvent désormais être traités, conditionnés et stockés dans les meilleures conditions possibles pour garantir la longévité de leur conservation. C'est une première étape importante mais un travail reste à faire pour affiner et contrôler nos protocoles de traitement des échantillons. L'Écothèque est cependant sur les rails pour devenir, avec la base des données géo-référencées de l'OPE, la mémoire de la qualité de l'environnement autour du projet Cigéo pour les 150 prochaines années.

par la diversité des milieux observés, la durée d'observation d'au moins 100 ans et l'étendue du territoire observé, jusqu'à 900 km² autour des futures installations de surface de Cigéo. Elle est aussi une exigence pour l'Andra : d'une durée de deux ans, cette nouvelle labélisation s'accompagne d'un ensemble de recommandations, notamment en matière d'ouverture des données.

Le label SOERE vise à structurer les dispositifs d'observation français pour permettre la meilleure gestion des équipements et surtout assurer la mise à disposition des données acquises à l'ensemble de la communauté. Il s'adresse aux projets contribuant à la cohérence des recherches environnementales au niveau national et favorise le décloisonnement entre les observatoires existants.

La certification de la salle blanche de l'Écothèque

La salle de préparation des échantillons en condition ultra propre (salle blanche ou propre) a reçu la certification ISO4 garantissant la qualité de l'air en termes de charge particulaire. Ces conditions



Emilia Huret

Service Géologie et Environnement
de Surface, coordinatrice des études FA-VL
Direction de la recherche
et développement

En juillet 2013, des investigations géologiques ont été réalisées sur le secteur d'étude du territoire de Soulaines pour vérifier que le milieu géologique présentait les caractéristiques favorables à l'implantation d'un stockage de déchets FA-VL.

Pour la définition des programmes de reconnaissance et de caractérisation du site, nous nous sommes appuyés sur le retour d'expérience du projet Cigéo en utilisant les moyens et les méthodes les mieux adaptés à l'étude des milieux argileux. Cette première phase de reconnaissance permet de disposer d'une première représentation conceptuelle du milieu géologique et hydrogéologique et de son évolution sur les 100 000 prochaines années.

Début 2015, des forages et des profils sismiques complémentaires ont été réalisés pour préciser localement les caractéristiques du milieu. Les connaissances acquises sur le secteur d'étude, présentées dans le rapport d'étape qui a été remis au gouvernement en juillet 2015, permettent aujourd'hui d'identifier une zone d'environ 10 km² présentant les caractéristiques géologiques les plus favorables pour la poursuite de l'étude d'un stockage de déchets FA-VL à faible profondeur.

D'ici 2018, sur cette zone d'étude, une nouvelle campagne d'investigation géologique sera lancée pour consolider et affiner les caractéristiques et la représentation du milieu géologique.

de propreté assurent l'absence de contamination lors du traitement des échantillons par des contaminations extérieures (poussières). Les échantillons collectés à l'Écothèque peuvent maintenant subir l'ensemble des traitements (broyage grossier, fin et flaconnage) dans les conditions préconisées pour une conservation optimale des caractéristiques chimiques des échantillons. Cette certification, marque la fin de la mise en service des infrastructures de l'Écothèque.

L'Andra (OPE) a rejoint le réseau ICOS

ICOS (Integrated Carbon Observation System) est une infrastructure de recherche européenne dédiée à la compréhension des flux et bilans de gaz à effet de serre de la zone Europe et des régions adjacentes. ICOS s'appuie sur des réseaux intégrés de mesures atmosphériques, écosystémiques et océaniques de haute qualité, standardisées. Les trois stations écosystémiques instrumentées (forêt, culture et prairie) ainsi que la station atmosphérique d'Houdelaincourt, mises en place par l'Agence, répondent aux protocoles établis au sein d'ICOS et ont été labellisées en 2015.

LES GRANDS RÉSULTATS DE LA R&D POUR UNE ÉTAPE CLÉ DU PROJET FA-VL

2015, une année de consolidation des connaissances sur le milieu géologique et sur les déchets, valorisées dans le rapport d'étape FA-VL, remis au gouvernement mi-2015.

LA RECONNAISSANCE DU MILIEU GÉOLOGIQUE

La reconnaissance de la formation hôte des argiles tégulines (résultats présentés dans le rapport d'étape FA-VL)

Les premières campagnes d'investigations géologiques engagées en 2013 sur le territoire de la communauté de communes de Soulaines, en concertation avec les acteurs locaux et sur un secteur d'étude de 50 km², se sont achevées mi-2015.

Deux formations argileuses sont présentes à l'affleurement : les Argiles tégulines et les Argiles à Plicatules.

Les premiers résultats des investigations ont montré que l'épaisseur des Argiles à Plicatules est limitée (25 à 30 mètres) et que les zones d'affleurement sont réduites sur le secteur d'étude. Il a été ainsi décidé de focaliser les études sur la formation des Argiles tégulines ayant une épaisseur et une présence plus importantes sur le secteur d'étude.

La campagne de reconnaissance et de caractérisation menée sur la période 2013-2015 permet de disposer aujourd'hui d'une bonne représentation du milieu géologique à l'échelle du secteur d'étude.

La formation des Argiles tégulines s'inscrit dans le cadre général du Bassin parisien, zone cratonique parmi les plus stables du globe, caractérisée par une activité sismique très faible. Cette formation s'épaissit dans le sens du pendage (de l'ordre de 1°) du sud-est vers le nord-ouest. Elle a une épaisseur d'au moins 30 mètres sur la majeure partie du secteur d'étude et peut atteindre 80 mètres environ au nord. Aucune faille majeure n'affecte le secteur d'étude.

La formation des Argiles tégulines s'est mise en place il y a environ 100 millions d'années dans un environnement marin et calme qui lui confère une lithologie et une composition minéralogique homogènes et peu contrastées. Ce sont des argiles silteuses peu carbonatées. Aucune hétérogénéité (structurale ou sédimentaires) pluri-métrique n'a été détectée. Il en résulte que les propriétés intrinsèques de la formation (perméabilité, diffusion...) sont globalement peu variables à l'échelle du secteur d'étude, à l'exception d'une zone à proximité de la surface où la porosité et les propriétés mécaniques de la couche sont influencées par des effets de surface (déconfinement et altération). La perméabilité moyenne des Argiles tégulines est de $2 \cdot 10^{-11}$ m/s. Le coefficient de diffusion effectif moyen est de $5 \cdot 10^{-10}$ m²/s.

Les écoulements d'eau s'organisent principalement dans les Sables verts de l'Aptien, formation sous-jacente aux Argiles tégulines alimentée par la recharge aux affleurements vers l'est. Il s'agit d'un aquifère avec un faible débit et un gradient hydraulique de l'ordre de 1,5 ‰ orienté suivant la tendance générale des écoulements dans le Bassin parisien (sud-est vers le nord-ouest). L'écoulement au sein de la formation des Argiles tégulines est vertical ascendant ou descendant,

respectivement depuis et vers les Sables verts. Au nord du secteur d'étude, le gradient hydraulique est vertical descendant. Il varie entre 0,1 et 0,3 m/m. Le transfert des solutés au sein des Argiles tégulines de ce secteur est convectif descendant, avec une vitesse de l'ordre du mètre par 1 000 ans.

Les travaux sur l'évolution future de ce secteur montrent que l'érosion attendue au cours des prochains 50 000 ans serait de quelques mètres à la dizaine de mètres selon le scénario d'évolution climatique retenu. L'écoulement resterait vertical descendant au nord du secteur d'étude.

LA CARACTÉRISATION DES DÉCHETS

Le référentiel graphite, capitalisation de plusieurs années de recherche

L'année 2015 marque une étape clé de la R&D avec l'émission, fin octobre, d'un référentiel graphite qui dresse le bilan des connaissances acquises sur les déchets de graphite issus du démantèlement des réacteurs UNGG des centrales nucléaires de première génération. Ce document est l'aboutissement de près de dix années de R&D auxquelles l'Andra a pris part avec les équipes du CEA et d'EDF. Il constitue un support essentiel au rapport d'étape du projet FA-VL de 2015.



Stéphane Catherin
Service Collis et Matériaux
Direction de la recherche et développement

L'originalité de la R&D menée sur les déchets de graphite est qu'elle est réalisée de façon collaborative par les producteurs de déchets de graphite, EDF et le CEA, avec l'Andra. Ainsi, depuis 2007, l'Andra prend activement part aux orientations données à ces travaux. Le référentiel graphite a été construit et écrit dans la même logique.

Ce document constitue un vrai succès grâce à l'implication forte des différents contributeurs, nombreux, à la fois académiques et industriels, à chacune des étapes de sa rédaction.

Il faut également souligner qu'il s'agit du premier document compilant près de dix ans de R&D sur les déchets de graphite français en vue de leur stockage.

En complément des éléments historiques et contextuels sur ces déchets, le référentiel met en avant les travaux sur l'inventaire radiologique et fait état des connaissances sur deux radionucléides dont le comportement est un élément clé pour le futur stockage : le chlore 36 et le carbone 14. La mobilité de ces deux radionucléides, selon leur spéciation et selon le milieu dans lequel ils se trouvent, est en effet particulièrement dimensionnant. Le référentiel compile également les connaissances acquises sur la structure et la microstructure du graphite irradié, celles-ci permettant de conforter la compréhension du comportement du graphite nucléaire lors des différentes phases de sa vie : lors de sa production, en réacteur, au cours du démantèlement et en stockage.



Benoît Cochebin
Service Evaluation et Analyse de Performance
Direction de la recherche et développement

Depuis l'examen de sûreté précédent (RDS 2004) et les recommandations de l'Autorité de sûreté nucléaire, l'Andra a pris des engagements pour améliorer la compréhension de l'évolution phénoménologique de référence du CSA.

Les évaluations actuelles reposent donc sur un ensemble de processus (principalement hydro-mécanico-chimique), de valeurs de paramètres, d'événements (construction, exploitation et fermeture des ouvrages puis du centre) définis au plus près de la connaissance disponible. La représentation de certains processus et de certaines valeurs de paramètres reste cependant soumise à un certain degré de conservatisme en fonction des incertitudes résiduelles.

L'étude sur le développement d'un panache de pH élevé dans les eaux situées sous le centre de stockage et à son aval hydraulique illustre parfaitement cette démarche avec la détermination d'un modèle conceptuel phénoménologique.

Cette étude, basée sur le retour d'expériences de Cigéo et son implémentation dans des simulations numériques prédictives, permet ainsi de consolider l'analyse des incertitudes relatives à l'évolution chimique de l'installation de stockage dans son environnement, aussi bien durant les phases de surveillance que de post-surveillance.

UNE R&D AU SERVICE DE LA MAÎTRISE DU FONCTIONNEMENT DES CENTRES DE SURFACE

2015, une année de travaux de recherche en appui aux réexamens de sûreté du CSA, prévu en 2016, et du CSM, prévu en 2019.

LE CENTRE DE STOCKAGE DE L'AUBE

La quantification du panache alcalin dans les sables de l'Aptien au droit des ouvrages de stockage du centre de stockage de l'Aube (CSA)

Les ouvrages de stockage cimentaires du CSA sont construits sur un sol constitué de sables de l'Aptien supérieur qui reposent sur une couche d'argile de l'Aptien inférieur. Les évaluations de performance pour le réexamen de sûreté du CSA nécessitent d'évaluer avec précision les conditions physico-chimiques de transfert de solutés depuis les ouvrages de stockage et dans la nappe, notamment liées à la dégradation des matériaux du stockage. La mise en contact d'un matériau cimentaire et d'un matériau sableux conduit à une évolution physico-chimique de ces deux matériaux pilotée en particulier par l'important contraste de compositions chimiques, tant des phases solides que de leurs eaux interstitielles. La perturbation chimique subie par le matériau sableux se traduit par une perturbation dite alcaline.

Cette perturbation alcaline se traduit par deux grands types de processus géochimiques : (i) un échange d'ions, phénomène réversible et des phénomènes irréversibles de dissolution/précipitation de phases minérales, (ii) la dissolution des phases primaires silicatées du fait de l'alcalinité du milieu, puis la précipitation de phases secondaires (CSH/MSH, zéolites...). La composition des eaux porales des milieux peut également être modifiée avec notamment une hausse du pH.

Une approche par modélisation et simulation numérique de type chimie-transport a permis d'apporter les premiers éléments de quantification de cette perturbation se développant dans les Sables de l'Aptien à la suite d'une dégradation progressive des matériaux cimentaires constitutifs des ouvrages du CSA.

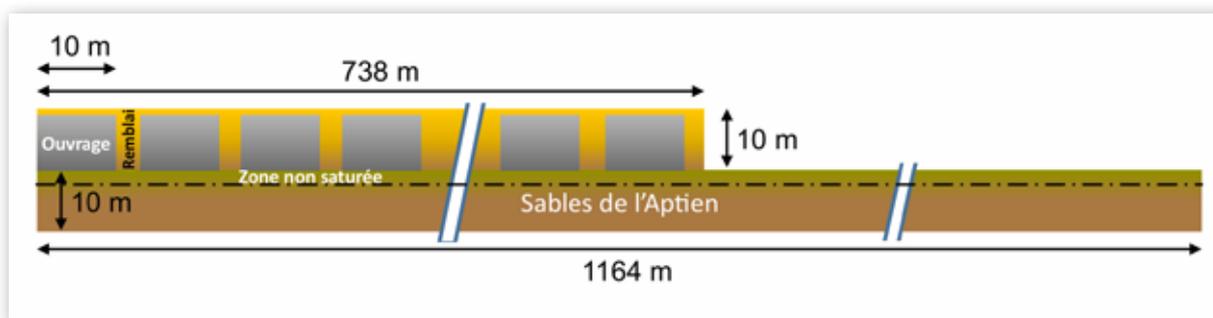
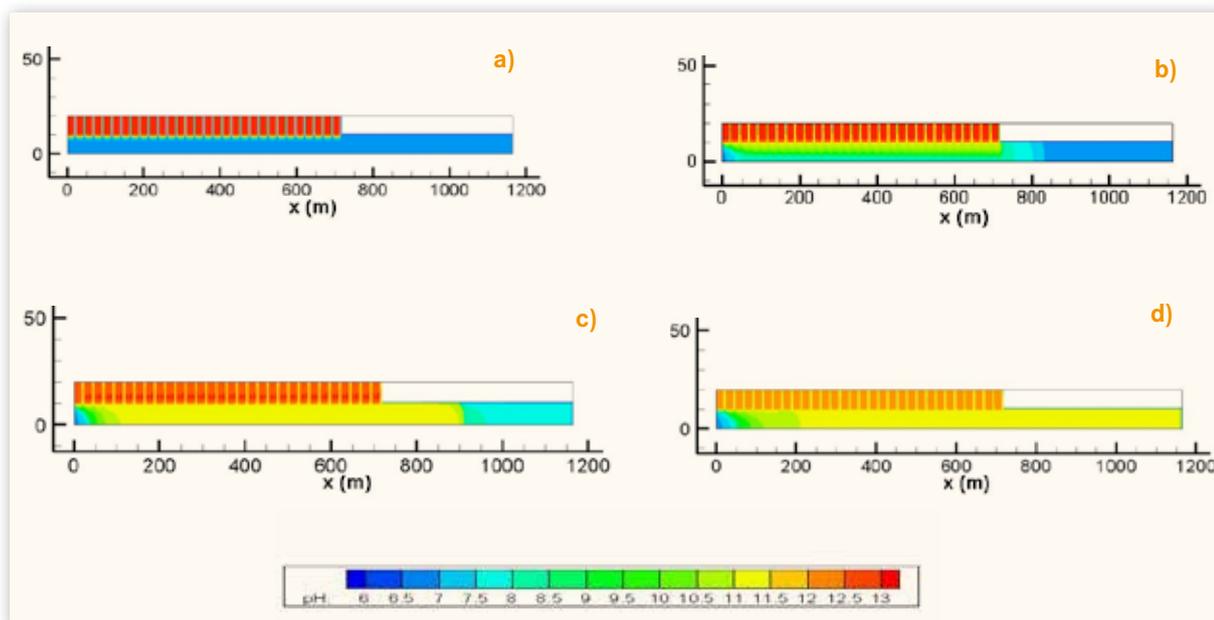


Schéma conceptuel simplifié du domaine simulé en transport réactif.



Les ouvrages de stockage du CSA : panache pH dans la nappe des Sables de l'Aptien après 50 ans (période d'exploitation) (a), 100 ans (b), 350 ans (c) et 1 000 ans (d). Ratio $y/x = 0,2$.

L'intensité et la vitesse de propagation du panache alcalin dans les Sables de l'Aptien sont évaluées au travers de la variation du pH des eaux de la nappe, le pH initial dans la nappe étant de l'ordre de 7.

Le modèle montre que pendant la période d'exploitation du stockage, les conditions hydrauliques (faible saturation en eau) et de transport (diffusion dominante) ne conduisent pas à une augmentation significative du pH dans la nappe. Ces résultats sont globalement en accord avec les mesures de pH effectuées sur site qui ne montrent pas d'augmentation significative du pH dans la nappe.

Après le passage en phase de surveillance, le modèle montre l'apparition d'un panache d'ions hydroxydes et alcalins (OH^- , K^+ et Na^+) induisant une élévation du pH sous les ouvrages. Le flux d'eau majoritairement horizontal dans la nappe contribue à la dispersion du panache pH vers l'aval

du stockage et à une homogénéisation du pH à une valeur proche de 11 après 1 000 ans, à compter du début de l'exploitation.

Le magnésium libéré par la dissolution de la dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) est incorporé dans la précipitation d'illite et de saponite. L'apport de silice par les ouvrages cimentaires et l'atteinte d'un pH de l'ordre de 11 conduit à la précipitation d'un silicate de calcium hydraté ($\text{CSH}_{0,66}$) par dissolution partielle du quartz dès 200 ans. Les quantités de smectite, de glauconite et de kaolinite sont stables dans le temps. Ainsi, malgré l'évolution des conditions de pH, les teneurs en phases argileuses sont préservées dans la durée. Cette étude est une donnée d'entrée importante pour la quantification du transfert des solutés dans la nappe jusqu'à l'exutoire puisque, pour les solutés concernés par le panache alcalin, une correction (espace/temps) de K_d en milieu alcalin sera appliquée dans les évaluations de performance.

LE CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE

L'évaluation des déformations subies au cours du temps par la géomembrane de la couverture du centre de stockage de la Manche (CSM)

Afin d'évaluer les déformations subies au cours du temps par la géomembrane du CSM, deux techniques de mesures géophysiques ont été utilisées : la tomographie électrique (résistivité avec Ohm-mapper) et la mesure au radar géologique.

Les mesures ont été réalisées par le BRGM. Trois zones de mesures ont été sélectionnées : une première zone de 10 x 10 mètres n'ayant subi aucune déformation visible en surface, une deuxième zone de 20 x 10 mètres située à l'aplomb d'une tranchée présentant des dépressions en surface de faible amplitude et une troisième zone située au nord-est du CSM d'une emprise de 30 x 10 mètres située pour une grande partie sur le talus au sein duquel sont suspectées des infiltrations d'eau. Ces deux techniques de mesures ont été complétées par des mesures GPS différentielles réalisées avec un maillage fin de 1 x 1 mètre.

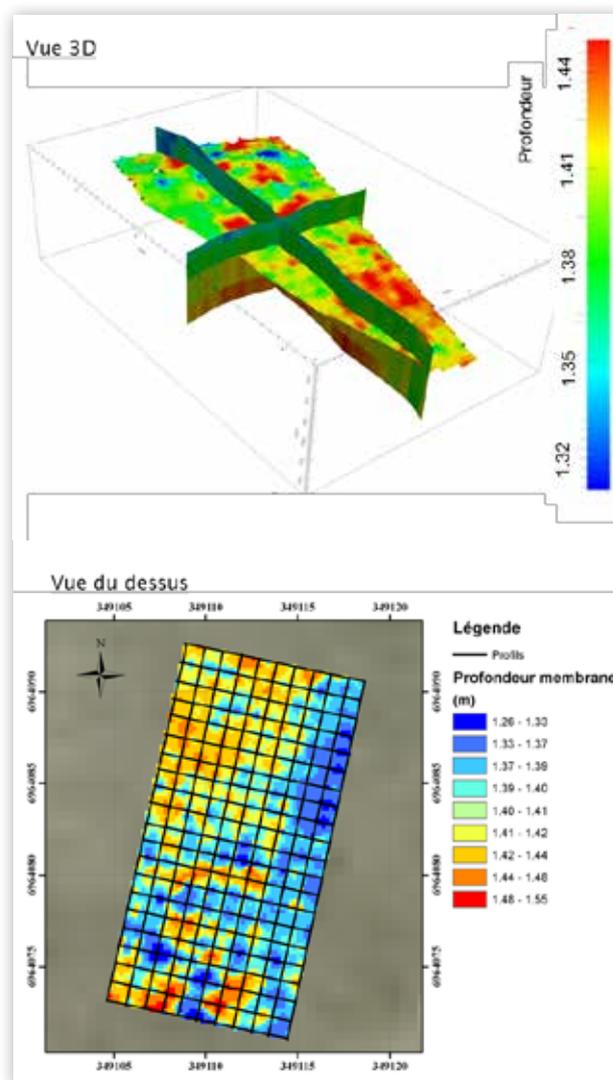


Béatrice Yven
Service monitoring
et traitement des données
Direction de la recherche et développement

En limitant les infiltrations d'eau dans les ouvrages de stockage, la géomembrane bitumineuse de la couverture multi-couches du Centre de Stockage de la Manche joue un rôle essentiel dans sa sûreté. Ce rôle d'étanchéité doit être préservé au cours de la phase de surveillance et aussi longtemps que possible. La couverture est ainsi conçue pour gérer des déformations dans le temps, par exemple du fait d'éventuels tassements différentiels des colis et elle fait l'objet d'une surveillance dédiée.

C'est pour améliorer la surveillance de la géomembrane en permettant la détection de déformations plus localisées, plus faibles et à des fréquences de mesure plus élevées, que nous avons testé des méthodes géophysiques innovantes avec nos partenaires géophysiciens du BRGM. Nous avons pu ainsi montrer la capacité de ces méthodes à suivre l'évolution de très petites amplitudes de déformations (centimétrique) sur des distances très courtes (métrique) en des temps rapides pour l'ensemble des phases acquisition-traitement-interprétation (fréquence mensuelle possible).

Les techniques mises en œuvre ont permis de détecter et d'estimer la profondeur de la géomembrane avec une précision centimétrique sur deux des trois zones. Les déformations les plus importantes sont relevées dans l'angle nord-est conformément au relevé topographique de surface.



Profondeur de la géomembrane localisée par géoradar à l'aplomb de la tranchée présentant des dépressions en surface.

L'Andra et la communauté scientifique

Partenariats, groupements de laboratoires, thèses ou encore participation à des projets nationaux, européens, mais également à des conférences et des workshops : l'Andra s'appuie sur une communauté scientifique de haut niveau pour mettre en œuvre son programme de R&D.

UNE COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE FORTEMENT MOBILISÉE

En 2015, l'Andra renouvelle ses partenariats avec le BRGM et l'INERIS

L'Andra a renouvelé ses accords de partenariat de recherche avec le BRGM et l'INERIS pour une durée de quatre ans. Ces accords prolongent les collaborations engagées avec ces deux établissements publics depuis plus de dix ans. Ils portent sur des domaines au cœur des problématiques de l'Andra et de l'expertise de ses partenaires :

- La géologie et la géophysique, l'instrumentation et la gestion des données, la simulation numérique et la géochimie, pour le BRGM.

Mehdi GHOREYCHI,
Directeur scientifique de l'INERIS
et membre du COS
(Comité d'Orientation et de Suivi
du Laboratoire souterrain)



Nos établissements sont tous deux fortement concernés par le développement des connaissances sur la maîtrise des risques liés aux ouvrages souterrains. Ce partenariat permet de prolonger nos collaborations pour limiter les impacts des ouvrages souterrains sur l'environnement et les populations. Avec nos compétences et savoir-faire complémentaires, ce partenariat doit permettre de développer et optimiser des nouvelles approches et des outils de surveillance et de modélisation.

- Les impacts environnementaux et la surveillance de l'environnement, la chimie des substances et leurs transferts dans l'environnement, l'acquisition et le traitement des données des stockages, la phénoménologie et la modélisation au sein de la roche hôte, et la concertation et l'approche économique et territoriale des risques, pour l'INERIS.

Au total, en 2015, les partenariats scientifiques de l'Andra en vigueur sont au nombre de douze.

Une nouvelle étape pour le projet fédérateur NEEDS du CNRS

En 2015, en complément des appels à projets annuels, la direction du défi NEEDS a décidé la mise en place de « projets structurants », c'est-à-dire de thématiques de R&D pluridisciplinaires, jugées prioritaires par les partenaires de NEEDS, et pour lesquelles un appel à projets ouvert et compétitif ne semble pas optimal. Ces projets sont coordonnés par les partenaires de chacune des sept thématiques du défi NEEDS, et sont sélectionnés hors appel à projets.

L'Andra, en tant que partenaire de quatre projets fédérateurs du défi NEEDS*, s'est particulièrement investie dans le montage et la coordination de ces projets. Elle intervient ainsi directement dans plusieurs « projets structurants » :

- Le projet NOUMEHA sur les nouveaux matériaux pour les alvéoles de stockage des déchets de haute activité (conteneur de stockage et chemisage). Ce projet est soutenu dans le cadre de NEEDS-Déchets et est coordonné par l'Andra;
- Un projet, en cours de montage, sur les nouvelles matrices de conditionnement des déchets métalliques réactifs. Ce projet sera également soutenu dans le cadre de NEEDS-Déchets et est coordonné par l'Andra;

* NEEDS Déchets, NEEDS MIPOR, NEEDS Environnement, NEEDS Risques et société.

- Le projet RPM qui concerne l'étude numérique des écoulements diphasiques gaz-eau dans des milieux à large distribution de taille de pores (argilite, ciment, etc). L'ensemble des résultats sera exploité en liaison avec la problématique du drainage hyperlent. Ce projet est soutenu dans le cadre de NEEDS-MIPOR;
- Le projet VARCIM qui a pour objectif de caractériser la structure multi-échelle des matériaux cimentaires afin de prédire leur comportement à court et à long terme, en termes de propriétés de transfert et mécanique. Ce projet est soutenu dans le cadre du projet NEEDS-MIPOR.

Le renouvellement de la convention de la chaire industrielle de l'Ecole des Mines de Nantes

En février 2015, l'Andra et ses cinq partenaires de la chaire industrielle de l'Ecole des Mines de Nantes ont renouvelé pour cinq ans la convention qui les lie.

L'objectif de cette chaire est de promouvoir la recherche et l'enseignement dans les domaines du stockage géologique et de l'entreposage des déchets radioactifs. Sur le volet recherche, qui est la priorité de la chaire et reçoit à ce titre la plus grande partie des ressources financières, les actions portent en particulier sur les sujets suivants :



Anne Beauval
Directrice de l'École des mines de Nantes

Le partenariat avec l'Andra, EDF et AREVA autour de la problématique du stockage des déchets nucléaires est très important pour nous car il nous permet de constituer une équipe de recherche à même de renforcer cette thématique importante pour l'école des mines, pour la filière industrielle et pour la société dans son ensemble. Les travaux de recherche réalisés lors de la première phase de la chaire, de 2009 à 2014, en ont montré tout l'intérêt, et c'est pour cela que l'ensemble des partenaires a souhaité la poursuite de la chaire pour les cinq prochaines années.

Le partenariat entre l'Andra et l'école des mines est aussi essentiel en formation, car l'implication active de l'Andra nous a permis de construire ainsi une formation internationale de haut niveau en génie nucléaire, en particulier dans le domaine de la gestion des déchets, formation que nous entendons poursuivre et déployer dans le cadre du projet de fusion que conduit actuellement l'école des mines de Nantes avec Télécom Bretagne.

- la mobilisation et la migration des radionucléides dans la géosphère, la biosphère et dans le champ proche des déchets ;
- le comportement des matrices de confinement des déchets, des conteneurs métalliques, des argiles gonflantes et des argilites.

Sur le volet enseignement, les actions consistent principalement à dispenser des cours aux étudiants du Master International de l'Ecole des Mines SNEAM (Sustainable Nuclear Engineering – Applications and Management), et en particulier de l'option « advanced nuclear waste management ».

L'accès aux grands centres de calcul

En 2015, en lien avec la participation de l'Andra à Terr@tec, l'Agence a sollicité GENCI (Grand Équipement National de Calcul Intensif) pour mettre à sa disposition le supercalculateur Curie. Hébergé au CEA dans les locaux du TGCC (Très Grand Centre de Calcul), il permet à l'Andra de réaliser, au titre d'activités de recherche, des simulations numériques haute performance relatives au transitoire hydraulique-gaz du stockage Cigéo.

La mise à disposition de plusieurs milliers de cœurs et l'exploitation de la scalabilité des outils de simulation en parallélisme intensif a permis à l'Andra de mener, avec le code Tough2_MP, des études de sensibilité multi-paramétriques sur le fonctionnement diphasique du stockage en 3D (modèle de plusieurs centaines de milliers d'éléments), en faisant varier simultanément une quinzaine de paramètres. Ces travaux ont permis, d'une part, d'établir un domaine de fonctionnement du transitoire hydraulique-gaz de Cigéo sur plusieurs indicateurs, et, d'autre part, d'identifier, à travers la construction de méta-modèles et l'exploitation de méthodes d'analyse de variance, les paramètres les plus influents sur les indicateurs de saturation, de pression d'eau et de gaz.

La mise en place des nouveaux groupements de laboratoires (GL)

La mise en œuvre opérationnelle des programmes de recherche de l'Andra est organisée selon trois grandes structures interdépendantes : les groupements de laboratoires (GL), les unités de programmes (UP) et les unités de programmes de simulation (UPS). Cette organisation vise à garantir

une maîtrise optimale des actions de recherche, compte tenu de la multidisciplinarité des moyens à mettre en œuvre pour répondre aux objectifs de recherche, et à donner une lisibilité des actions, au travers plus particulièrement des groupements de laboratoire. Cette organisation s'appuie sur les grands outils de recherche de l'Agence : le Laboratoire souterrain de Meuse/Haute Marne et l'Observatoire Pérenne de l'Environnement (OPE), spécifiquement pour Cigéo, et les moyens de simulation numérique pour l'ensemble des centres existants et projets de stockage.

Les GL constituent une structure de recherche particulièrement originale mise en place par l'Andra. Ces facteurs d'originalité sont :

- une intégration des recherches autour de projets pluridisciplinaires (questions scientifiques) avec des enjeux importants pour l'Andra (conception, sûreté, gouvernance);
- la mobilisation des meilleures équipes scientifiques autour de projets de recherche;
- une synergie de moyens et de compétences;
- une collaboration inscrite dans la durée;
- un outil de transparence, de performance et de responsabilité dans la gouvernance de la recherche à l'Andra.

Un GL s'adresse ainsi à un processus phénoménologique et/ou à tout ou partie des composants d'un stockage. Le choix des thématiques scientifiques des GL est fondé principalement sur les grands enjeux de conception et de sûreté au sens large, en lien avec le programme de R&D.

Le programme de recherche antérieur s'appuyait sur huit GL. L'évolution du programme de R&D à partir de 2013 a conduit l'Agence à faire évoluer les GL. Sept GL mobilisent ainsi dorénavant des scientifiques aux compétences complémentaires sur des problématiques transverses comme celle des milieux chimiques en conditions non saturées ou encore celle de la corrosion et du comportement mécanique couplé des composants métalliques.

2015 est l'année de contractualisation et de définition des programmes de ces nouveaux GL.

Les sept groupements de laboratoires

Comportement THM-gaz des ouvrages et composants

Corrosion/comportement mécanique des composants métalliques

Comportement chimique et transfert en environnement/ouvrages insaturés

Comportement chimique et transfert en environnement/ouvrages à physico-chimie complexe

Comportement des verres en environnement de stockage

Monitoring

Sciences humaines et sociales



Christophe Tournassat
Responsable du programme
sur les performances des barrières
géologiques au sein du BRGM

En tant que géologues, nous apportons notre expertise sur la connaissance des roches. Par exemple, dans l'un de ces groupements de laboratoires, nous travaillons avec des spécialistes des propriétés des radionucléides. Nous croisons nos savoirs, en particulier pour comprendre comment ces radionucléides migrent dans la roche.

Cela nous permet de développer notre activité et nos compétences en collaborant avec des laboratoires travaillant sur des sujets complémentaires aux nôtres. Les groupements de laboratoires présentent en cela de nombreux avantages :

- ils élargissent la qualité des interprétations des résultats grâce au croisement de différentes techniques et approches ;
- ils nous permettent d'être plus visibles car nous rédigeons beaucoup d'articles en commun ;
- ils structurent notre recherche sur le long terme ;
- ils développent notre réseau et nous ouvrent à d'autres projets, au-delà de notre collaboration avec l'Andra.

Le BRGM participe aux groupements de laboratoires depuis 2000. À l'époque, il s'agissait surtout d'un réseau permettant des échanges de matériels et d'idées. À partir de 2006, une première réorganisation a amené les acteurs à répondre collectivement, par petit groupe, aux questions posées par l'Andra. En 2015, nous avons encore évolué dans cette logique collaborative. Dans chaque groupement auquel nous participons, tous les laboratoires impliqués s'associent pour répondre de façon coordonnée aux problématiques posées. L'animation et la coordination assurées par l'Andra sont primordiales dans la réussite de ces groupements.

DES THÈSES POUR CONTRIBUER À LA R&D DE L'AGENCE

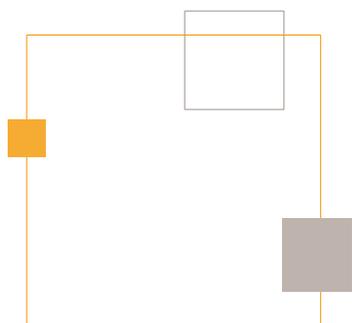
Fin 2013, l'Agence a mis en place un processus d'appel à projets de thèses qui s'adresse aux laboratoires de recherches et aux établissements d'enseignement supérieur. Objectif : sélectionner six à sept doctorants pour travailler sur des thématiques scientifiques répondant aux enjeux de R&D de l'Agence pour les années à venir.

L'appel à projet est mis en ligne sur www.andra.fr et envoyé à un ensemble de laboratoires et d'Ecoles doctorales.

Le processus de sélection des projets de thèse comporte deux étapes :

Des propositions de sujets de thèse sur des thèmes préalablement définis par l'Andra sont sélectionnées à l'issue de la première étape. Les choix sont effectués en regard de la pertinence, de la nouveauté, de l'originalité des sujets et de la robustesse scientifique de la démarche de recherche proposée. Les équipes de recherche sélectionnées proposent alors des candidats doctorants.

Lors de la seconde étape, les dossiers sont sélectionnés en fonction de la qualité des candidats et de la pertinence du programme de recherche prévu pour la thèse.



En novembre 2015, la troisième édition de l'appel à projets de thèses Andra a été mise en ligne

Fin 2015, dans son appel à projets de thèses 2016, l'Andra a proposé aux laboratoires de recherche 23 thèmes de thèses couvrant un large spectre de domaines, désormais de manière plus affirmée à l'interface entre science et technologie, en lien avec le développement des composants des projets de stockage Cigéo ou FA-VL. Certains thèmes répondent à des besoins de consolidation et d'approfondissement des connaissances, d'autres s'inscrivent résolument dans une démarche prospective et innovante.

Vingt-huit sujets ont été proposés sur 19 de ces 23 thèmes.



Voir les 23 thèmes de thèse
en annexe



En octobre 2015, les cinq doctorants retenus à l'issue de l'appel à projets de thèses 2015, ont débuté leur thèse

Mathieu ROBINEAU à l'Université de La Rochelle sur les risques de corrosion associés à une interface hétérogène acier/matériau de remplissage/argilite

Anne LOSSOIS au CEA Marcoule sur l'Influence des matériaux d'environnement (produits de corrosion, matériaux de remplissage cimentaires, argilites) sur les vitesses de dissolution des verres HA

Greg KALFAYAN à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne sur les procédés de soudure d'un matériau céramique alumino-silicaté à température modérée

Philipp BRAUN à l'Ecole des Ponts Paris Tech sur le comportement thermo-hydro-mécanique des argilites du Callovo-Oxfordien sous sollicitation thermique suivant des chemins en extension et en cisaillement

Edoardo TRIVELLATO à l'Ecole des Ponts Paris Tech sur les mécanismes de formation et modèle d'évolution de l'EDZ fracturée autour des ouvrages profonds dans les argilites

Symbole de la réussite de cette démarche, le jeune doctorant Justin Pageot, soutenu par l'Andra, a obtenu le prix 2015 « jeune chercheur » du Groupe français d'étude des carbonés. Son sujet de thèse : la décontamination des graphites irradiés, thèse préparée au laboratoire de géologie de l'École normale supérieure et au CEA de Saclay, en collaboration avec EDF.

En 2015, quatre doctorants Andra et cinq doctorants dont les travaux ont été soutenus techniquement et financièrement par l'Andra ont soutenu leur thèse sur des thématiques importantes en lien avec le programme de R&D de l'Agence

BIOGÉOCHIMIE DU SÉLÉNIUM : processus de transfert dans la biosphère

Pamela Di Tullio, doctorante Andra, a soutenu sa thèse en mars à l'Ecole doctorale des Sciences Exactes et de leurs Applications (Université de Pau et des Pays de l'Adour) sur la biogéochimie du sélénium stable.

SORPTION D'ESPÈCES AQUEUSES SUR LES MINÉRAUX : mécanismes d'interaction du nickel et de l'euporium avec la calcite du Callovo-oxfordien

Andrea Sabau, doctorant Andra, a soutenu sa thèse en mars à l'Université de Nice Sophia-Antipolis sur les mécanismes d'interaction du nickel et de l'euporium avec la calcite.

BÉTONS BAS PH : caractérisation pour une mise en œuvre industrielle

Thierry Leung Pah Hang a soutenu sa thèse en mai à l'INSA de Toulouse sur les comportements initial et différé sous contraintes externes des bétons bas pH.

FONDS RADIOLOGIQUES DE MEUSE/Haute-Marne : contribution du ^{36}Cl

Julie Pupier, doctorante Andra, a soutenu sa thèse en juin au Cerege à Aix-en-Provence au sein de l'Ecole Doctorale des Sciences de l'Environnement (Université Aix-Marseille) sur la distribution des pools actuels de ^{36}Cl et les transferts entre les compartiments des écosystèmes terrestres.

COMPORTEMENT HYDROMÉCANIQUE DES ROCHES ARGILEUSES : modélisation multi-échelle

Bram VAN DEN EIJENDEN, doctorant Andra, a soutenu sa thèse en juillet au laboratoire 3SR du CNRS, sur la Modélisation multi-échelle du comportement hydromécanique des roches argileuses.

VERRES NUCLÉAIRES : mécanismes de reprise d'altération

Maxime Fournier, a soutenu sa thèse en octobre, à l'Institut de Chimie Séparative de Marcoule (ICSM) sur les mécanismes de reprise d'altération des verres nucléaires.

COMBUSTIBLES UOX ET MOX : comportement en présence des matériaux d'environnement du stockage

Mélina Odorowski a soutenu sa thèse en décembre à l'Institut de Chimie Séparative de Marcoule (ICSM) sur le comportement des combustibles UOX et MOX en conditions de stockage.

RÉGULATION DES RÉACTIONS D'OXYDO-RÉDUCTION D'ESPÈCES CHIMIQUES : étude des sédiments fluviaux de la Marque

Josselin Gorny a soutenu sa thèse en décembre à l'université de Lille-1 sur la régulation des réactions d'oxydo-réduction d'espèces chimiques (arsenic et chrome) dans les sédiments fluviaux de la Marque. De l'expérimentation à la modélisation (projet REOSD).

VENTILATION DES GALERIES EN MILIEUX ARGILEUX : simulation numérique des échanges de masse et d'énergie entre les circuits de ventilation et les milieux poreux des ouvrages

Yumeng Zhang a soutenu sa thèse en décembre à l'Université Nice Sophia Antipolis sur la simulation numérique des échanges de masse et d'énergie entre les circuits de ventilation et les milieux poreux des ouvrages.

Voir le détail des travaux de thèse en annexe 

UN INVESTISSEMENT DANS DES PROJETS D'ENVERGURE

Les travaux à l'échelle européenne

Plateforme IGD-TP

Plateforme européenne pour le stockage géologique de déchets radioactif, l'IGD-TP (Implementing geological disposal of radioactive waste - Technological Platform) a été créée en 2009 à la demande de l'Union européenne qui en assure le financement. Cette plateforme est pilotée par onze organisations responsables de la mise en œuvre de projets de stockage géologique de déchets radioactifs en Europe. Elle se veut un forum d'échanges et d'informations permettant d'identifier les actions de recherche et développement d'intérêt commun et de les soutenir dans le cadre des appels à projets de la Commission européenne. Depuis sa création, l'IGD-TP a ainsi contribué à la mise en œuvre de douze projets européens dont quatre ont été officiellement lancés en 2015. L'Andra en a assuré la présidence de septembre 2010 à janvier 2012 et en assure le secrétariat depuis 2011.

Trois nouveaux projets européens acceptés

Les trois projets de recherche déposés en 2014 par l'Agence dans le cadre du programme Euratom - Horizon 2020 (WP2014-2015) ont été retenus et officiellement lancés en juin 2015. À la clé, un soutien financier de près de 11 M€ pour faire avancer la recherche sur le stockage géologique en Europe.

L'Andra assure le rôle de coordinateur pour deux d'entre eux : Modern2020 et JOPRAD et est partenaire du troisième projet : Cebama.

Le projet **Modern2020** rassemble 28 partenaires européens et ambitionne de poser les bases du développement et de la mise en œuvre de programmes d'observation-surveillance au plan opérationnel, en tenant compte des exigences spécifiques à chaque contexte national. L'objectif est d'appréhender les paramètres dimensionnant pour la sûreté et de disposer d'une méthodologie sur l'utilisation des informations d'observation-surveillance pour la prise de décisions, au fur et à mesure du développement de l'installation souterraine.

Les travaux de R&D prévus dans Modern2020 visent ainsi à améliorer et à développer des techniques innovantes de surveillance (transmission de données sans fil, sources d'alimentation alternatives, nouveaux capteurs...). L'objectif est de se doter de systèmes de surveillance innovants et performants dès le lancement de la phase de construction des stockages et pour le suivi des évolutions pendant plusieurs décennies. Sont également prévues des expérimentations *in-situ* à l'échelle réelle qui permettront de renforcer les connaissances sur la mise en œuvre opérationnelle des moyens de suivi des ouvrages et attesteront de la performance des solutions envisagées.

Enfin, Modern2020 a pour ambition d'associer les populations locales autour des futurs sites de stockage en prenant en compte, en amont, leurs préoccupations et attentes, dans la définition du programme d'observation-surveillance.

Le projet **JOPRAD** (Joint Programming on Radioactive Waste Disposal), deuxième projet retenu, porte sur la définition d'un programme de recherche collaborative au niveau européen dans le domaine du stockage géologique. Il rassemble, organismes en charge de la gestion des déchets radioactifs, supports techniques aux autorités de sûreté et acteurs académiques. L'objectif est d'identifier les sujets sur lesquels il serait dès à présent pertinent de mutualiser la recherche et de réfléchir en commun aux thématiques à venir.

Le projet **Cebama** (Cement-based materials for geological disposal), piloté par l'université de Karlsruhe en Allemagne, rassemble 27 partenaires. Il porte sur le comportement des matériaux cimentaires pour le stockage de déchets radioactifs (comportement THM aux interfaces avec les milieux géologiques, comportement des radionucléides). L'Andra est impliquée dans deux Work Package sous la forme de deux études directes sur l'évolution mécanique et chimique d'un mur d'appui en béton bas pH au contact de la roche et sur la modélisation hydromécanique et du transfert réactif.

L'appel à projets Andra sur l'optimisation de la gestion des déchets radioactifs issus du démantèlement des installations nucléaires

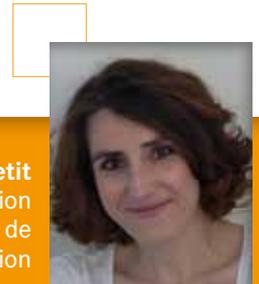
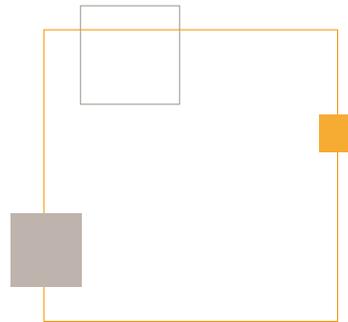
Lancé fin 2014 en coopération avec l'ANR et avec le soutien du programme Investissements d'avenir, l'appel à projets Andra a pour objectif de faire émerger des initiatives innovantes pour optimiser, en amont du stockage, la gestion des déchets radioactifs issus du démantèlement des installations nucléaires. L'appel à projets a été organisé en deux éditions : les résultats de la première édition ont été publiés en juillet 2015 ; la seconde a été lancée en décembre 2015.

Pour la première édition (décembre 2014 - juillet 2015), 30 projets ont été soumis. 12 projets ont été retenus : 10 projets de recherche industrielle/développement expérimental et 2 projets de recherche fondamentale.

Sur ces 12 projets, 7 s'inscrivent dans la thématique « Caractérisation » et 5 dans la thématique « Tri et traitement des déchets ». Le montant total de ces projets représente 40 millions d'euros ; ils seront financés à hauteur de 18 millions d'euros par le programme Investissements d'avenir, le reste du financement étant apporté par les partenaires des projets.

Les résultats de la seconde édition de l'appel à projets, en cours depuis décembre 2015, ont été publiés en août 2016.

POUR EN SAVOIR PLUS : <http://www.agence-nationale-recherche.fr/fileadmin/aap/2015/selection/aap-andra-selection-2015.pdf>



Laurence Petit
Chef du service Innovation
Direction du développement et de
l'innovation

L'objectif de l'Andra via cet appel à projets est double : élargir nos thématiques de R&D en amont du stockage pour couvrir toute la chaîne de gestion des déchets de démantèlement, mais également promouvoir la participation d'acteurs industriels et académiques de tous horizons, en particulier des PME et des acteurs hors nucléaire. Ces objectifs sont en passe d'être remplis et la seconde édition s'annonce déjà comme un beau succès avec une nette progression de la participation sur l'ensemble des thématiques et une diversification des porteurs de projets.

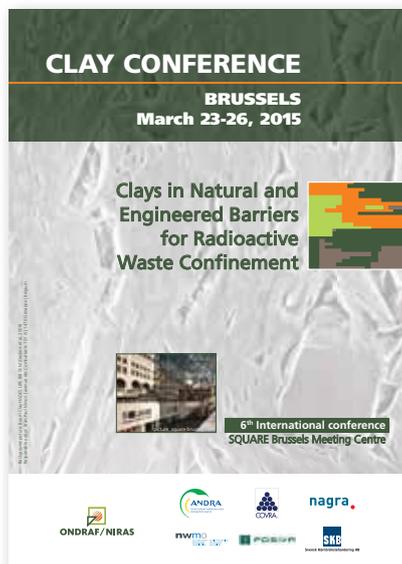
La première édition a d'ores et déjà permis de soutenir plusieurs projets avec des enjeux forts pour améliorer la caractérisation des déchets, et permettre ainsi de les orienter le plus finement possible vers la bonne filière de gestion. Le projet MAUD (coll. CEA/Ateliers Laumonier/CNRS. Université Poitiers) permettra par exemple de développer un appareillage basé sur la technique d'autoradiographie, déjà développée dans la recherche en biologie et géologie, en l'adaptant aux contraintes du démantèlement des installations nucléaires. Il permettra, en temps réel, d'avoir une image de la radioactivité présente dans les déchets et de mesurer certains types de radioactivité qui le sont difficilement aujourd'hui. Comme une radio du corps humain en somme, sauf que la source de rayonnement vient directement du déchet.

UNE PRÉSENCE SOUTENUE DANS LES CONFÉRENCES ET WORKSHOPS

En 2015, l'Andra a participé à 39 manifestations scientifiques, dont 34 à l'international.

L'Andra participe à la sixième conférence internationale sur les argiles pour les stockages géologiques de déchets radioactifs

Créée en 2002 à l'initiative de l'Andra en collaboration avec six homologues : COVRA (Pays-Bas), Ondraf/NIRAS (Belgique) Nagra (Suisse), NWMO (Canada), Posiva (Finlande) et SKB (Suède), la « Clay Conference » répond au besoin de réunir les organismes en charge de la gestion des déchets radioactifs, et des spécialistes et chercheurs de différentes disciplines scientifiques et technologiques des milieux et matériaux argileux, appliquées au stockage géologique. Cet évènement permet de dresser un état des études et recherches menées en support à la conception et à l'évaluation de sûreté des stockages géologiques, de favoriser les échanges de connaissances et de susciter des collaborations.



La « Clay Conference » regroupe en moyenne 500 participants de plus de 20 pays, européens et non européens (Japon, USA...). Entre 2002 et 2012, l'Andra en a été le seul organisateur. En 2015, l'Ondraf a pris le relai et organisé la sixième édition à Bruxelles du 23 au 26 mars.

Avec une trentaine de participants, 26 présentations orales (Andra ou partenaires/prestataires) et 51

posters (Andra ou partenaires/prestataires), l'Andra s'est imposée comme l'un des acteurs importants de cet évènement.

L'Andra organise la troisième conférence internationale des banques d'échantillons environnementaux, en partenariat avec l'Université de Lorraine et OTELO

Du 30 juin au 1^{er} juillet, à l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy, l'Andra a organisé la troisième conférence internationale des banques d'échantillons environnementaux (ESB), en partenariat avec l'Université de Lorraine et OTELO*.

Cet évènement réunissant 50 experts venus de 17 pays a permis d'échanger sur des sujets liés à la surveillance et la recherche environnementales ou encore aux nouvelles technologies utilisées dans ces « bibliothèques des écosystèmes ».



Au cours des deux jours de conférence, des représentants de 17 nationalités ont eu l'opportunité d'échanger leurs expériences sur les thèmes développés : (i) rôle des ESB dans la recherche en environnement, (ii) rôle des ESB dans le contexte de la régulation internationale des rejets de polluants, (iii) rôle des ESB dans un contexte industriel, (iv) rôle des ESB dans l'observation des zones désertiques ou difficiles d'accès.

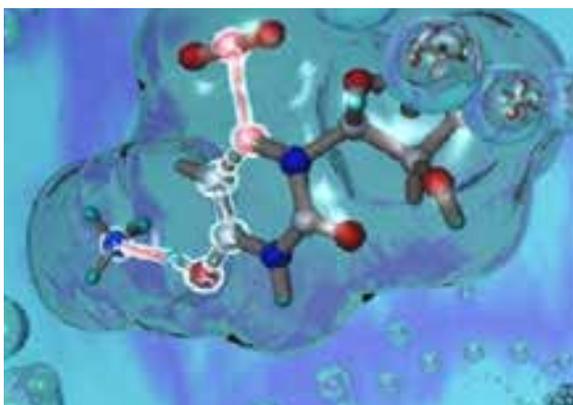
La rencontre avec des représentants de la communauté européenne en charge des grands programmes de régulation des rejets des polluants (Stockholm convention, arctic monitoring and assessment program AMAP) a mis en évidence l'intérêt de ces institutions pour une collaboration accrue avec les ESB. À travers les présentations s'est

* Observatoire Terre Environnement de Lorraine

aussi dégagée la volonté des ESB d'aller vers une plus grande interopérabilité des structures, notamment à travers les systèmes informatiques de gestion des échantillons et des données.

Pour clôturer cette troisième conférence, les participants ont été conviés à la visite des installations du centre de Meuse/Haute-Marne (Écothèque, Laboratoire souterrain et Espace technologique).

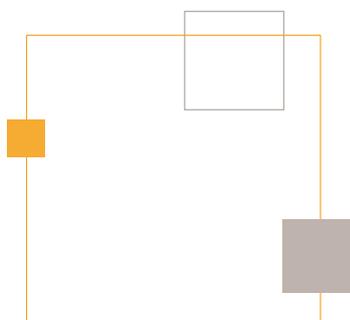
L'Andra organise le workshop international Thermochimie, en partenariat avec RWM, sur les développements thermodynamiques

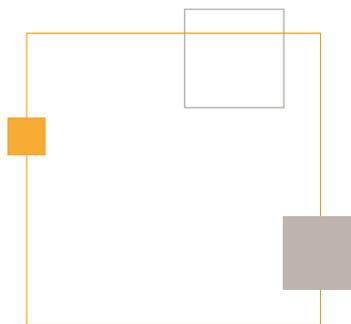


Les 6 et 7 Octobre 2015 à Londres, Andra et RWM ont organisé le workshop Thermochimie qui porte sur les développements thermodynamiques associés aux organiques des déchets et aux élévations de température. Ce workshop a permis de définir les priorités des futurs développements de la base de données Thermochimie.

L'Andra organise un workshop sur l'administration de la preuve

Le premier workshop préparatoire au colloque « administration de la preuve » prévu en décembre 2016, s'est tenu le 2 décembre 2015. Il a réuni une trentaine de participants, et a été organisé autour d'échanges entre des scientifiques de différentes disciplines en vue de comparer et de mettre en perspective la complexité propre à la construction de la preuve de Cigéo et les spécificités d'autres domaines (sciences du climat, nanotechnologies, biologie de synthèse, écologie, arme nucléaire).





Le renouvellement de la gouvernance scientifique de l'Andra

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 douze 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.

Dans le cadre de sa démarche d'excellence scientifique, l'Andra s'appuie également, sur le plan opérationnel, sur des comités scientifiques spécialisés.

L'année 2015 a été marquée par des changements importants au sein de ce dispositif avec le renouvellement du Conseil Scientifique, du Comité d'orientation et de suivi du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne (COS) et la création d'un nouveau comité, le Comité d'orientation et de suivi de l'Observatoire pérenne de l'environnement (COS-OPE)

Christian Fouillac, président du précédent Conseil, ainsi que deux membres de l'ancien Conseil ont été reconduits dans leurs fonctions. À leurs côtés, ce sont huit nouveaux membres*, dont trois femmes qui ont rejoint le Conseil Scientifique de l'Andra pour cinq ans

Les travaux du Conseil Scientifique s'inscrivent dans la continuité de ceux du précédent Conseil, notamment autour des projets Cigéo et FA-VL.

* Deux membres nommés en janvier 2015 ont démissionné ; un nouveau membre a été nommé par arrêté ministériel en mars 2016.

RENOUVELLEMENT DU CONSEIL SCIENTIFIQUE

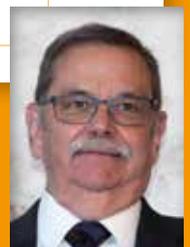
Le Conseil Scientifique de l'Andra a été renouvelé par arrêté ministériel du 22 janvier 2015, à compter du 19 février 2015 pour une durée de cinq ans

Afin de mener à bien sa mission, le nouveau Conseil Scientifique dispose de compétences riches et variées : celles relatives aux géosciences (géomécanique, géochimie...), aux matériaux ainsi qu'aux mathématiques appliquées et aux sciences humaines et sociales existaient précédemment et sont toujours représentées, tandis que d'autres sont introduites (caractérisation, tri et traitement des déchets, métrologie et gestion des données, suivi environnemental et épidémiologie).

Découvrir les membres du Conseil Scientifique en annexe



Christian Fouillac
Président du Conseil Scientifique de l'Andra



Je suis ravi de ce nouveau mandat à la tête du Conseil Scientifique de l'Andra. Les cinq dernières années ont été jalonnées de dossiers importants. Autour du projet Cigéo d'abord, qui a connu des avancées décisives et pour lequel nous avons eu à nous prononcer sur une série de documents structurants. Le projet FA-VL a lui aussi bien avancé, avec le lancement d'investigations géologiques pour la qualification d'un site d'implantation, qui ont donné lieu à plusieurs documents soumis au conseil.

Le programme des cinq prochaines années ne sera pas moins dense ! Cigéo sera bien sûr un élément clé, avec l'échéance du dépôt du dossier de demande d'autorisation de création (DAC). Le projet FA-VL donnera lui aussi lieu à plusieurs dossiers d'étapes. Enfin, nous serons probablement sollicités sur la politique de partenariat de l'Andra, un certain nombre d'accords arrivant à échéance et devant être renouvelés, ainsi que sur les recherches menées dans le cadre du programme Investissement d'avenir visant à réduire le volume des déchets à la source.

Durant les cinq dernières années, le Conseil Scientifique s'est notamment prononcé sur un ensemble de travaux de recherche présentant des enjeux forts pour le projet Cigéo ainsi que sur les résultats et interprétations des investigations géologiques pour la qualification d'un site d'implantation FA-VL sur la communauté de communes de Soulaïnes.

COMITÉS SCIENTIFIQUES SPÉCIALISÉS : RENOUVELLEMENT, CRÉATION ET STABILITÉ

Renouvellement du COS (Comité d'Orientation et de suivi du Laboratoire souterrain) : un périmètre de compétences étendu en lien avec le développement de Cigéo

En avril 2015, le directeur général de l'Andra a nommé les dix membres du nouveau COS pour une durée de cinq ans. Ce comité d'experts, créé en 2007, rassemble des spécialistes français et étrangers appartenant notamment au monde académique ou à de grands établissements de recherche. Le COS a notamment pour mission d'évaluer la préparation et le déroulement des expérimentations scientifiques et/ou technologiques menées dans le Laboratoire souterrain sur le site de Meuse/Haute-Marne ainsi que les démonstrateurs en surface, au regard des objectifs recherchés. Il donne également des avis sur l'interprétation des résultats obtenus.

Un nouveau comité d'experts pour l'OPE (Observatoire Pérenne de l'Environnement) : le COS-OPE (Comité d'orientation et de suivi de l'OPE)

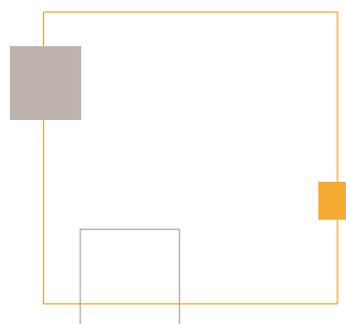
En juillet 2015, l'Andra s'est dotée d'un nouveau comité d'expert, le COS-OPE. Les huit membres qui le composent sont nommés pour cinq ans par le directeur général de l'Andra. Le COS-OPE a pour mission (i) d'évaluer le programme de R&D de l'OPE et les modalités de mise en œuvre associées, notamment en termes de stratégie de partenariat, (ii) de proposer de nouvelles actions de recherche,

(iii) d'évaluer la préparation et le déroulement des travaux de recherche menés au sein de l'OPE, au regard des objectifs recherchés et (iv) d'émettre des avis sur l'interprétation des résultats obtenus.

La première réunion du comité nouvellement nommé s'est tenue le 27 novembre 2015 à l'Écothèque du centre de Meuse/Haute-Marne. Une rencontre qui a permis aux experts du COS-OPE de s'informer sur les activités de l'OPE et de découvrir les stations de mesure.

COESDIC : un comité qui reste stable en 2015

Le Comité d'expertise et de suivi de la démarche d'information et de consultation (COESDIC), composé de quatre membres, n'a quant à lui pas évolué en 2015. Cette entité regroupe des compétences d'expertise dans le domaine de la participation citoyenne aux décisions industrielles et technologiques. Elle comporte, d'une part, des personnalités ayant eu des responsabilités opérationnelles dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs, et d'autre part, des scientifiques reconnus au niveau international. Le COESDIC avait été créé après la loi du 28 juin 2006 qui confie à l'Andra une mission d'information du public qui doit contribuer à la préparation de la demande d'autorisation de création de Cigéo.



Découvrir les membres des comités scientifiques en annexe



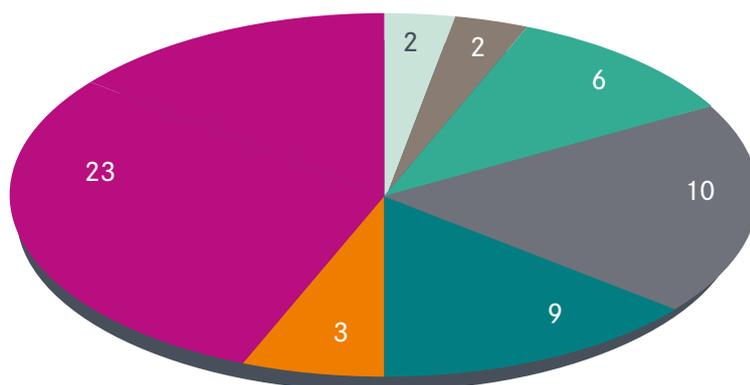
ANNEXE

Les publications

Si elle mobilise la communauté scientifique sur ses sujets, l'Andra partage aussi avec elle les connaissances qu'elle contribue à créer. En 2015, l'Agence a contribué à la publication de 55 articles dans des revues scientifiques de rang A*.

Publication dans des revues de rang A par thématique scientifique en 2015

- Sciences de la Terre
- Science des matériaux
- Thermo-hydro-mécanique des roches
- Transferts de solutés dans les roches
- Environnement
- Instrumentation
- Géotechnique



Les dépôts de brevets

Deux brevets ont été déposés en 2015 :

- « Capteur chimique de type optode, son procédé de préparation et ses utilisations » ;
- « Fibre optique, procédé de fabrication d'une telle fibre optique et dispositif de mesure destiné à la détection d'hydrogène équipé d'une telle fibre optique ».

* Revues internationales reconnues à comité de lecture.

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 – Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs en Arts Chimiques Et Technologiques (ENSIACET) – Institut National Polytechnique (INP) de Toulouse
Marc DEMARCHE	Directeur général adjoint de l'ONDRAF (Belgique)
Christian FOUILLAC	Directeur de la recherche du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) jusqu'en 2010 Président du Conseil Scientifique
Gabrielle HECHT	Professeur au département d'Histoire de l'Université du Michigan Ann Arbor (USA)
Isabelle HERLIN	Directeur de recherche à l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA) – Responsable de l'équipe recherche CLIME
Philippe OLLAR	Chef du département « Matériaux et Mécanique des Composants » - EDF R&D
Roger SALAMON	Président du Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) Directeur honoraire de l'Institut de Santé Publique, d'Épidémiologie et de Développement (ISPED)
Stéphanie THIEBAUT	Directrice de l'Institut Écologie et Environnement du CNRS
Jean-Michel TORRENTI	Directeur adjoint 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 et directeur scientifique du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)
Yves BRECHET	Haut-Commissaire à l'Énergie Atomique, membre de droit

Les membres du COS

10 membres

Thématiques/Compétences	Noms	Éléments de CV
Géotechnique et génie civil	Alain VANCOTTHEM	Chef de projet à la section Geotechnics & Structures de Tractebel (Belgique)
Comportement thermo-hydro-mécanique des composants du stockage (milieu géologique et matériaux ouvragés)	Mehdi GHOREYCHI	Directeur scientifique de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS)
Géochimie (milieu géologique, matériaux)	Laurent MICHOT	Directeur de recherche 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 » ANTEA
	Michel VAUCLIN	Directeur de recherche au CNRS Président du COS
Géophysique	Frédérique FOURNIER	Géologue principal et directeur des opérations à BEICIP-FRANLAB
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

Les membres du COS-OPE		
Thématiques/ compétences	Noms	Eléments de CV
8 membres	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)
	Ecologie/ Hydrologie	Yvan LAGADEUC Professeur à l'Université de Rennes 1 Président du COS-OPE
	Ecologie (biodiversité)	Nathalie MACHON Professeur au Museum d'Histoire Naturelle de Paris
	Géochimie	Frédéric VILLIERAS Directeur de recherche au CNRS Vice-Président du Conseil scientifique de l'Université de Lorraine
	Environnement	Stéphanie THIEBAULT Directrice de l'Institut Écologie et Environnement du CNRS Membre du Conseil Scientifique de l'Andra

Les membres du COESDIC	
Michel CALLON	Sociologue, École des Mines de Paris
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)
Saida LAAROUCHE-ENGSTRÖM	Vice-présidente de SKB (Suède)

Les thèmes de l'appel à projets de thèses 2016

Radionucléides, Déchets

1. Compréhension et modélisation « nano-macro » du transfert (réactif) de fluides et de solutés en milieux insaturés
2. Quantification du potentiel de migration du technétium dans une formation superficielle caractérisée par un gradient des conditions redox
3. Évaluation multi-échelle du comportement couplé rétention/diffusion de ^{14}C (+IV) et du ^{41}Ca au sein de bétons à haute-performance

Matériaux naturels et ouvrages

4. Mécanismes de corrosion active sous dépôts de produits de corrosion en milieu argileux.
5. Matériau de remplissage de l'annulaire des alvéoles HA : formulation et comportement physico-chimique
6. Matériaux innovants pour le stockage : développement d'un coulis d'injection géo-polymère
7. Biodégradation des polymères
8. Analyse expérimentale et numérique de l'effet des hétérogénéités locales de densité des noyaux d'ouvrages de fermeture de Cigéo à base de pellets d'argile gonflante sur leur saturation
9. Couplage entre une corrosion généralisée hétérogène et le comportement mécanique d'un composant métallique

Ouvrages souterrains

10. Utilisation de la « mécanique de la rupture » pour appréhender la problématique de la rupture sous pression de gaz
11. Rupture ductile d'un sur-conteneur de déchets HA soudé par faisceau d'électrons et soumis à une corrosion généralisée

12. Impact des défauts de fabrication sur la tenue mécanique du sur-conteneur de déchets HA
13. Amélioration de la compréhension du comportement des soutènements en béton projeté

Simulation numérique

14. Simulation numérique des écoulements dans les réseaux karstiques
15. Etude de la méthode de Boltzmann sur réseau pour la simulation macroscopique des écoulements et du transfert de masse en milieu poreux
16. Estimations d'erreur a posteriori et contrôle d'erreur pour les problèmes d'écoulement diphasique eau-gaz en milieu poreux

Surfaces et interfaces continentales

17. Caractérisation des interfaces biosphère – atmosphère au sein de l'Observatoire pérenne de l'environnement
18. Caractérisation des réseaux hydrographiques et hydrogéologiques des calcaires du barrois au sein de l'Observatoire pérenne de l'environnement
19. Identité, dynamique et enjeux paysagers des vallées de la Saulx et de l'Ormançon au sein de l'Observatoire pérenne de l'environnement

Mesure, traitement de l'information et bases de données

20. Traitement des données et outils d'aide à la décision
21. Imagerie haute énergie pour la caractérisation de colis de déchets radioactifs

Sciences Humaines et Sociales

22. L'administration de la preuve technoscientifique
23. Gouvernance des « mégaprojets » et temporalités extrêmes

BIOGÉOCHIMIE DU SÉLÉNIUM : processus de transfert dans la biosphère

Pamela Di Tullo, doctorante Andra, a soutenu sa thèse en mars à l'Ecole doctorale des Sciences Exactes et de leurs Applications (Université de Pau et des Pays de l'Adour). Les travaux de thèses ont porté sur la biogéochimie du sélénium stable, l'objectif étant de consolider les modèles de prédiction à long terme des risques associés à une contamination potentielle de la biosphère par le sélénium 79. Ses travaux ont montré qu'une partie du sélénium entrant dans le système par voie atmosphérique est intercepté par le feuillage et dans une moindre mesure par les racines des végétaux. Les pertes en sélénium par lessivage dans le sol sont très faibles. Ont par ailleurs été étudiées, les cinétiques des évolutions de la distribution et de la spéciation de sélénium natif et fraîchement ajouté sous forme de sélénite (sélénium 77 IV) dans trois sols (culture, forêt et prairie) incubés in situ pendant deux ans. Les résultats de cette expérimentation ont clairement mis en évidence l'existence de processus lents impliqués dans la rétention de sélénium dans les sols. Le comportement du traceur sélénium 77 tend vers celui de sélénium naturellement présent sans toutefois le rejoindre à l'issue des deux années d'expérimentation. Le sélénium fraîchement ajouté reste toujours plus labile que le sélénium natif et donc plus facilement mobilisable.

SORPTION D'ESPÈCES AQUEUSES SUR LES MINÉRAUX : mécanismes d'interaction du nickel et de l'euporium avec la calcite du Callovo-oxfordien

Andrea Sabau, doctorante Andra, a soutenu sa thèse en mars à l'Université de Nice Sophia-Antipolis sur les mécanismes d'interaction du nickel et de l'euporium avec la calcite. On observe une forte rétention de l'Euporium (III) dans la calcite, quelle qu'en soit la concentration initiale, le temps de contact et la pression partielle de CO₂. Le Nickel (II) est également aisément retenu par la calcite. Les expériences de sorption en fonction du temps ont montré une augmentation nette et progressive de la rétention sur de longues durées (jusqu'à 4 mois). Les résultats de désorption indiquent une réversibilité partielle pour le Nickel (II). L'incorporation de l'Euporium (III) dans la calcite est observée jusqu'à une profondeur de 250 nm, contrairement au Nickel (II) qui reste situé en surface.

BÉTONS BAS PH : caractérisation pour une mise en œuvre industrielle

Thierry Leung Pah Hang a soutenu sa thèse en mai à l'INSA de Toulouse sur les comportements initial et différé sous contraintes externes des bétons bas pH.

Les travaux réalisés par Thierry Leung Pah Hang dans le cadre de sa thèse sur le comportement des bétons bas pH, montrent qu'un co-broyage des constituants du liant permet d'améliorer la réactivité du liant et de s'assurer d'une bonne robustesse des formules de béton. L'obtention d'un pH de leur solution interstitielle de 11 (condition essentielle) est assurée dès 28 jours. Les bétons peuvent être considérés à faible chaleur d'hydratation du fait des échauffements limités à court terme. A long terme, de hautes performances mécaniques, de faibles coefficients de perméabilité et de diffusion sont obtenus sur ces matériaux.

FONDS RADIOLOGIQUES DE MEUSE/HAUTE-MARNE : contribution du ^{36}Cl

Julie Pupier, doctorante Andra, a soutenu sa thèse en juin au Cerege à Aix-en-Provence au sein de l'Ecole Doctorale des Sciences de l'Environnement (Université Aix-Marseille), sur la distribution des pools actuels de ^{36}Cl et les transferts entre les compartiments des écosystèmes terrestres. L'étude de la spéciation du Cl et du ^{36}Cl (fractions organique et inorganique) a permis de mettre en évidence qu'environ 72 % du Cl et 80 % du ^{36}Cl sont présents sous forme organique dans le sol alors qu'ils sont principalement sous forme inorganique dans la végétation.

L'étude des rapports $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ dans les différents compartiments de l'écosystème a mis en évidence que les rapports mesurés dans la végétation sont légèrement supérieurs à ceux des apports atmosphériques ; ceux mesurés dans le sol sont plus élevés d'un ordre de grandeur. Ces travaux montrent également que le pic de ^{36}Cl introduit dans l'environnement il y a plus de 50 ans lors des tests militaires atmosphériques, est toujours visible dans la végétation, et en particulier dans la fraction organique solide du sol. En se basant sur le temps de résidence du chlore stable, il a été estimé que 80 % du ^{36}Cl actuellement mesuré dans la colonne de sol est issu des tests atmosphériques des années 50-60.

COMPORTEMENT HYDRO-MÉCANIQUE DES ROCHES ARGILEUSES : modélisation multi-échelle

Bram Van Den Eijnden, doctorant Andra, a soutenu sa thèse en juillet au laboratoire 3SR du CNRS sur la modélisation multi-échelle du comportement hydro-mécanique des roches argileuses.

Dans les matériaux ayant une microstructure complexe comme l'argilite du Callovo-Oxfordien, le comportement macroscopique est fortement dépendant de l'interaction entre les constituants à l'échelle microscopique. S'ajoute ainsi au couplage entre comportement hydraulique et mécanique, un couplage entre les échelles micro et macro. Sur la base d'un modèle couplé hydro-mécanique reposant sur l'identification de grains et d'espaces poreux intergranulaires à l'échelle microscopique, les travaux de recherche de Bram Van Den Eijnden ont porté sur le développement d'un modèle reposant sur une homogénéisation numérique du comportement à petite échelle afin d'obtenir à l'échelle macroscopique la réponse en contrainte et de transport du fluide interstitiel. L'implémentation du modèle double échelle et la mise en œuvre des développements théoriques d'homogénéisation ont été effectués dans le code aux éléments finis Lagamine. L'approche double-échelle a été utilisée dans un formalisme de milieu enrichi de type milieu de second gradient pour matériau poreux saturé pour tenir compte de la localisation de la déformation à l'échelle macroscopique.

Les capacités du modèle homogénéisé ont été démontrées en simulant des essais macroscopiques sur échantillon (oedométriques et compression biaxiale). L'approche permet de modéliser l'anisotropie initiale et induite du comportement mécanique et du comportement hydraulique. La loi de comportement homogénéisée numériquement est utilisée dans des simulations de creusement de galerie permettant de mettre en avant des variations de perméabilité liées à l'excavation.

VERRES NUCLÉAIRES : mécanismes de reprise d'altération

Maxime Fournier a soutenu sa thèse en octobre, à l'Institut de Chimie Séparative de Marcoule (ICSM). Ses travaux sur les mécanismes de reprise d'altération des verres nucléaires ont notamment permis de vérifier que si la vitesse de reprise d'altération, mesurée à différents pH à 90 °C, augmentait avec le pH, elle restait inférieure à la vitesse initiale d'altération du verre. La caractérisation des phases formées confirme que les reprises d'altération sont associées à la formation de zéolithes. Des essais spécifiques d'ensemencement avec différents types de zéolithes révèlent que la nature de la zéolithe (chabazite, analcime, zéolithe de type P) a un impact sur cette reprise d'altération. Ces connaissances sont importantes car elles consolident le caractère « enveloppe » (conservatif) du modèle de vitesse de dissolution initiale du verre.

VENTILATION DES GALERIES EN MILIEUX ARGILEUX : simulation numérique des échanges de masse et d'énergie entre les circuits de ventilation et les milieux poreux des ouvrages

Yumeng Zhang a soutenu sa thèse en décembre à l'Université Nice Sophia Antipolis sur la simulation numérique des échanges de masse et d'énergie entre les circuits de ventilation et les milieux poreux des ouvrages. Ses travaux de recherche ont permis d'identifier les modalités mathématiques et numériques de couplage entre les fractions molaires du gaz dans la galerie de ventilation et les flux de liquide et de gaz à l'interface milieu poreux/galerie. Ils permettent ainsi d'identifier le type de couplage à implémenter entre un code de CFD et de transfert en milieu poreux, pour une quantification précise des échanges de masse et de chaleur afin de contribuer in fine, de manière plus optimisée à la conception et à la sûreté en exploitation (hydrométrie, ventilation...).

COMBUSTIBLES UOX ET MOX : comportement en présence des matériaux d'environnement du stockage

Mélina Odorowski a soutenu sa thèse en décembre à l'Institut de Chimie Séparative de Marcoule (ICSM). Ses travaux sur le comportement des combustibles UOX et MOX en conditions de stockage, en présence de matériaux d'environnement permettent de mieux préciser les processus qui pilotent la dissolution des combustibles UOX/MOX en eau de site (argilites) et en présence de fer. Ainsi, les modèles géochimiques (utilisation du code CHESS) et de transport réactif (utilisation du code HYTEC) développés dans le cadre de cette thèse représentent correctement les principaux résultats et mécanismes mis en jeu et consolident les termes sources retenus à ce stade dans les évaluations de sûreté du stockage de combustibles usés (adaptabilité de ClgéO).

RÉGULATION DES RÉACTIONS D'OXYDO-RÉDUCTION D'ESPÈCES CHIMIQUES : étude des sédiments fluviaux de la Marque

Josselin Gorny a soutenu sa thèse en décembre à l'université de Lille-1 sur la « Régulation des réactions d'oxydo-réduction d'espèces chimiques (arsenic et chrome) dans les sédiments fluviaux de la Marque. De l'expérimentation à la modélisation » (projet REOSD).

Ses travaux ont porté sur des sédiments fluviaux, en raison de l'existence de gradients redox importants dans ce milieu. Les résultats obtenus à partir de différentes méthodes de spéciation montrent que le chrome est uniquement présent sous forme réduite Cr(III), rendant difficile l'évaluation des paramètres forçant les inter-conversions redox entre Cr(III) et Cr(VI). L'arsenic est présent uniquement sous formes inorganiques dans les eaux interstitielles. L'évolution saisonnière de la spéciation en phase dissoute de l'As dépend essentiellement de la production en S(-II) dissous par les bactéries sulfato-réductrices. Ces avancées montrent l'attention particulière qui doit être portée sur le niveau de production en S(-II) dissous dans les environnements de sub-surface puisque la réduction d'As(V) en As(III) accroît la mobilité et la toxicité de l'arsenic.

TABLE DES SIGLES

Andra	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs	GL	Groupements de laboratoires
APS	Avant-projet sommaire	GRD	Galerie de recherche et développement
APD	Avant-projet détaillé	GVA	Galerie voussoir anisotrope
AQS	Analyse qualitative de sûreté	HA	Haute activité
ASN	Autorité de sûreté nucléaire	ICESB	International conference on environment science and biotechnology
BBP	Béton bas pH	ICOS	Integrated Carbon Observation System
Cebama	Cement-Based Materials for geological disposal	ICSM	Institut de chimie séparative de Marcoule
Cigéo	Centre industriel de stockage géologique	IGD-TP	Implementing geological disposal of radioactive waste technology platform
CMHM	Centre de Meuse / Haute-Marne	JOPRAD	Joint Programming on Radioactive Waste Disposal
CNRS	Centre national de la recherche scientifique	MA-VL	Moyenne activité à vie longue
Coesdic	Comité d'expertise et de suivi de la démarche d'information et de consultation	MSH	Magnesium Silicate Hydrate
COS	Comité d'orientation et de suivi du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse / Haute-Marne	MOX	Mélange d'Oxydes
COS-OPE	Comité d'orientation et de suivi de l'Observatoire pérenne de l'environnement	NEEDS	Nucléaire : énergie, environnement, déchets, société
COX	Callovo-Oxfordien	Noumeha	Nouveaux matériaux pour les alvéoles de stockage HA
CSA	Centre de stockage de l'Aube	Ondraf	Organisme national belge des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies
CSH	Calcium Silicate Hydrate	OPE	Observatoire pérenne de l'environnement
CSM	Centre de stockage de la Manche	OTELo	Observatoire terre environnement de Lorraine
DAC	Demande d'autorisation de création	REM	Restauration à l'échelle métrique
DDI	Direction de l'ingénierie	RDS	Rapport de sûreté
DOPAS	Demonstration of Plugs and Seals	RWM	Radioactive Waste Management (Agence britannique de gestion des déchets radioactifs)
DOS	Dossier d'options de sûreté	SKB	Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company
DOS-AF	Dossier d'options de sûreté après fermeture	SOERE	Systèmes d'observation et d'expérimentation pour la recherche en environnement
DRD	Direction de la recherche et développement	TFA	Très faible activité
EDZ	Excavation Disturbed Zone	TGCC	Très grand centre de calcul
ESB	Environmental Specimen Bank	THM	Thermo-hydro-mécanique
FA-VL	Faible activité à vie longue	UA	Unité argileuse
FMA-VC	Faible et moyenne activité à vie courte	UNGG	Uranium naturel graphite gaz
FSS	Full Scale Seal	UOX	Uranium Oxyde
GENCI	Grand équipement national de calcul intensif	UP	Unité de programmes
GGD	Galerie grand diamètre	UPS	Unité de programmes de simulation



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

