

Le journal de l'Andra

N°33
ÉTÉ 2019
ÉDITION MEUSE/
HAUTE-MARNE



Les géosciences:
**au cœur des activités
de l'Andra** P.15

SOMMAIRE

EN BREF

P. 3/4



P. 6

L'ACTUALITÉ

P. 5/14

- P. 5 Les ascenseurs du Laboratoire : sécurité maximum
- P. 6 L'Andra et l'Université de Lorraine : un partenariat ambitieux au service du territoire
- P. 8 L'Andra teste des matériaux innovants pour le futur de Cigéo
- P. 9 Alimenter Cigéo en énergie, une opportunité de développement pour le territoire
- P. 10 Quelles opportunités sur le territoire pour alimenter Cigéo en énergie ?
- P. 12 Le jumeau numérique, un atout essentiel pour Cigéo
- P. 13 L'œuvre d'Olivier Terral « *Devoir de mémoire* » à la rencontre du public
- P. 14 Femme et scientifique : deux ingénieures de l'Andra prennent la parole

P. 15



DÉCRYPTAGE

P. 15/21

- P. 15 Les géosciences : au cœur des activités de l'Andra
- P. 16 Le milieu géologique, fondement du stockage géologique profond
- P. 18 Les géosciences à l'Andra, pour quoi faire ?
- P. 20 Des outils scientifiques uniques au service de Cigéo... et de la communauté scientifique
- P. 21 Le Laboratoire souterrain ouvre ses portes aux spécialistes mondiaux du stockage... de CO₂!

P. 23



OUVERTURE

P. 22/23

- P. 22 « *Ce que l'on photographie aujourd'hui, c'est la mémoire de demain* »
- P. 23 *480 mètres sous terre*, une BD numérique pour parler des déchets radioactifs

Le Journal de l'Andra Édition Meuse/Haute- Marne N° 33



Centre de Meuse/Haute-Marne
CMHM RD 960 - BP9 - 55290 BURE
Tél. : 03 29 75 53 74 - journal-andra@andra.fr

Directeur de la publication : Pierre-Marie Abadie • Directrice de la rédaction : Annabelle Quenet • Rédactrice en chef : Coraline Lambert • Ont participé à la rédaction, pour l'Andra : Antoine Billat, Lola Kovacic, Coraline Lambert, Dominique Mer ; pour Rouge Vif : Matthieu Cabanes, Françoise de Blomac, Emmanuelle Crédoz, Angel Herrero Lucas, Joana Maître et Élodie Seghers • Responsable iconographie : Sophie Muzerelle • Crédits photos : DR, Andra, Daniel Wambach, Sophie Muzerelle, www.les80degres.fr, Dominique Mer, Éric Poirot, Stéphane Lavoué, Sophie Dubois, Philippe Demail, Louis Fraysse, Elio Balini, Léa Morognier, Valentin Petit, Gwénaëlle Poirot-Rozec • Dessin : Aster • Création-réalisation : www.grouperougevif.fr - ROUGE VIF éditorial - 25884 - www.grouperougevif.fr • Impression : DILA - Siret 130 009 186 00011 - Imprimé sur du papier issu de forêts durablement gérées, 100 % recyclé dans une imprimerie certifiée imprim'vert • © Andra - 371-33 • DICOD/19-0089 • ISSN : 2106-8291 • Tirage : 198 882 exemplaires

  10-31-2190 / Certifié PEFC

ABONNEMENT GRATUIT

POUR ÊTRE SÛR
DE NE RIEN MANQUER,
ABONNEZ-VOUS!

Édition(s) souhaitée(s) :

- Manche
- Meuse/Haute-Marne
- Aube

Si vous souhaitez recevoir régulièrement notre journal, merci de retourner ce coupon à :
Service communication – Andra CMHM RD 960 – BP9 – 55290 BURE

Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville :

Vous pouvez également vous abonner à la version électronique en envoyant vos coordonnées à :
journal-andra@andra.fr, en précisant la ou les édition(s) souhaitée(s).



15 SEPTEMBRE 2019 JOURNÉE PORTES OUVERTES (JPO) AU CENTRE DE MEUSE/Haute-MARNE



Le Centre de Meuse/ Haute-Marne, tout comme les Centres industriels de l'Andra dans l'Aube, ouvre ses portes au grand public le temps d'une journée. Cette année, trois espaces seront proposés au public : un espace Cigéo, pour présenter le projet, un espace Belvédère, matérialisant la localisation des futures installations de Cigéo, et un espace participation sur les concertations en cours et à venir.

À l'Espace technologique (ETE), dimanche 15 septembre 2019, de 10 h à 18 h. Accès : RD 60/960, entre Joinville et Vaucouleurs.

LE POINT DE VUE D'ASTER

L'Andra innove pour sensibiliser les jeunes



Les déchets radioactifs : un sujet complexe, méconnu, tabou ?
Avant tout, un sujet de société majeur.
Concours photos, concours de courts-métrages, BD numérique, etc.
Pour élargir le dialogue, l'Andra invite les jeunes à s'exprimer.



Adolphe Colrat, nouveau président du conseil d'administration de l'Andra

Le 11 mai, Adolphe Colrat, préfet et inspecteur général des finances a été nommé président du conseil d'administration de l'Andra par décret du Président de la République.

Ancien élève de l'École normale supérieure, agrégé de lettres classiques, diplômé de l'Institut d'études politiques de Paris et ancien élève de l'École nationale d'administration, il a occupé différents postes de préfet tout au long de sa carrière (Alpes-Maritimes, Manche, Meurthe-et-Moselle et Ardennes). Pour découvrir son interview, rendez-vous sur : www.andra.fr

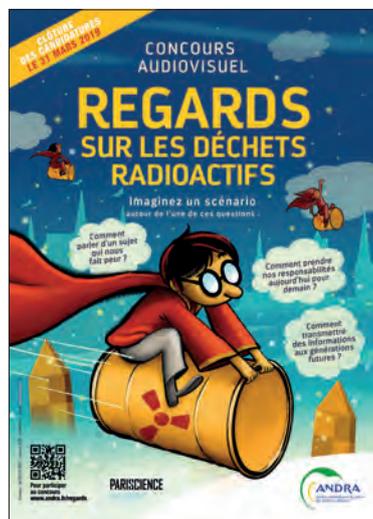
L'Andra acteur du débat public sur le PNGMDR

Du 17 avril au 25 septembre 2019 se déroule le premier débat public sur le Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR), organisé par la Commission nationale du débat public, un débat dans lequel l'Andra s'implique très largement en participant aux réunions publiques qui ont lieu dans toute la France. Plusieurs d'entre elles sont organisées dans des villes proches des implantations de l'Agence : après Cherbourg le 11 juin, sur la gestion du combustible usé, Bar-le-Duc le 20 juin sur les alternatives au stockage géologique, à Troyes le 17 septembre il sera question des filières de gestion pour les déchets FA-VL. •



Pour en savoir plus ou déposer une contribution : <https://pngmdr.debatpublic.fr/>

« Regards sur les déchets radioactifs » : découvrez le lauréat 2019



Chaque année, l'Andra organise un concours de courts-métrages ouvert à tous les jeunes passionnés de cinéma et de sciences : « Regards sur les déchets radioactifs ».

Objectif : permettre aux apprentis réalisateurs de mettre en scène leur point de vue sur la gestion des déchets radioactifs afin d'ouvrir le sujet au plus grand nombre et notamment aux jeunes. Sélectionné par un jury composé de professionnels du monde scientifique, audiovisuel et des médias, le scénario « *Le bidon de l'Aube* » a remporté le 1^{er} prix de l'édition 2019. Signé Mattias Eyer, ce projet de film, non dénué d'humour, nous invite à réfléchir sur la gestion de nos déchets radioactifs de très faible activité (TFA).

Actuellement en tournage, « *Le bidon de l'Aube* » est à découvrir **en avant-première le 14 octobre** prochain dans le cadre du festival *Pariscience*, puis sur www.andra.fr •



LA TÊTE DANS LES ÉTOILES !

À l'occasion de la Fête de la science 2019, année anniversaire des 50 ans du premier pas de l'Homme sur la lune, l'Andra vous propose, en octobre, deux événements culturels à ne pas manquer :

Exposition « Voyage dans le système solaire et au-delà ! »

Rendez-vous au Centre de Meuse/Haute-Marne pour un fascinant voyage dans notre système solaire. Jeux, maquettes, expérimentations et films permettront une découverte ludique et interactive du soleil, des planètes et des météorites. L'exploration se poursuivra dans un planétarium avec l'observation du ciel nocturne local et une visite immersive jusqu'aux confins de notre galaxie.

Pour petits et grands (à partir de 8 ans).

Du 1^{er} octobre au 24 mars 2020 à l'Espace technologique, les mercredis, samedis et dimanches de 14h à 18h. Visite des groupes en semaine sur réservation au 03 29 75 53 73. Renseignements : meusehautemarne.andra.fr

« À la rencontre de l'astronaute Patrick Baudry »

Le Centre de l'Andra dans l'Aube reçoit Patrick Baudry pour une conférence exceptionnelle. Pionnier de l'espace, Patrick Baudry fait partie du cercle le plus fermé de la planète : celui des quelque 500 femmes et hommes qui ont eu le privilège de voler dans l'Espace. Il nous parlera des effets des voyages spatiaux sur le corps, des enjeux de la conquête spatiale mais aussi de la radioactivité...

Mercredi 9 octobre, Centre de congrès de l'Aube, à Troyes
Inscriptions : comm-centresaub@andra.fr

Campagne de porte-à-porte auprès des riverains du Centre de Meuse/Haute-Marne



Après une première campagne en 2017, l'Andra a organisé une nouvelle opération de porte-à-porte, avec l'appui du cabinet eXplain, du 24 au 29 juin, dans les communes avoisinant le Centre de l'Andra en Meuse/Haute-Marne. À travers cette démarche, l'Agence souhaite privilégier l'échange direct avec les riverains afin d'écouter leurs questionnements, tout en apportant de l'information sur le projet Cigéo. Cette seconde campagne de porte-à-porte a permis d'échanger avec 1 043 ménages, en particulier pour mieux comprendre leur perception des travaux prévus pour Cigéo et des évolutions possibles dans leur vie quotidienne et sur le territoire. Les informations recueillies contribueront notamment à nourrir la concertation relative au projet Cigéo, prévue cet automne sur l'aménagement de l'espace et le cadre de vie, en identifiant les sujets d'intérêt et les questionnements des riverains. •



EN COULISSES

LES ASCENSEURS DU LABORATOIRE : SÉCURITÉ MAXIMUM

Le saviez-vous? Pour transporter quotidiennement le personnel et le public, les matériaux et machines à 500 m de profondeur, pas moins de six ascenseurs équipent le Laboratoire souterrain de l'Andra.

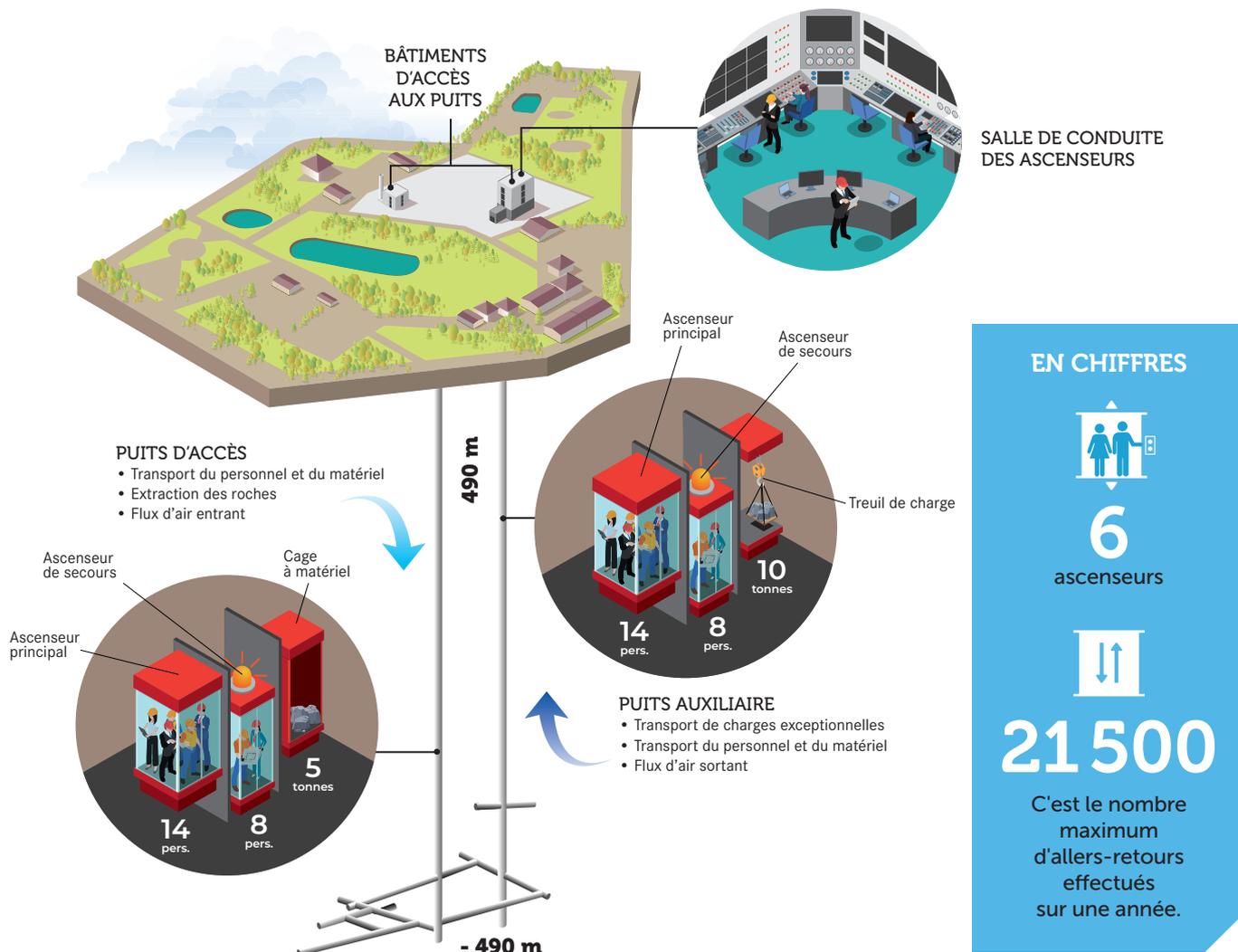
Entre octobre et mai dernier, l'ordinateur qui commande ces équipements a été intégralement remplacé. Une opération de maintenance complexe, effectuée pour la première fois depuis la mise en place des ascenseurs. « *Les technologies évoluent. Pour maintenir leur parfait état de fonctionnement, les systèmes doivent*

être modernisés tous les 15 à 20 ans », explique Fabrice Ceola, directeur du département maintien en condition opérationnelle au Centre de l'Andra en Meuse/Haute-Marne.

Des équipements sur mesure

Mais les ascenseurs du Laboratoire sont aussi uniques en leur genre. Conçus sur mesure par une entreprise grenobloise pour s'adapter à la forme des puits et à la configuration du site, ces ascenseurs disposent d'automates de sécurité particulièrement élaborés. « *Ils nous envoient en continu l'information relevée par les capteurs*

situés sur les ascenseurs. Depuis la salle de conduite, on sait à tout moment où ils sont et si leur fonctionnement est optimal. Si un dispositif de sécurité venait à faillir, d'autres dispositifs de secours peuvent prendre le relais. » Désormais en activité, le nouveau logiciel développé par la société Ekium aura nécessité trois mois d'indisponibilité des puits du Laboratoire pour sa mise en place. « *Il ne s'agissait pas simplement de changer de logiciel, précise Fabrice Ceola, mais de tester à nouveau toutes les fonctionnalités des machines avant qu'elles ne reprennent du service.* » •





Signature du partenariat entre Pierre-Marie Abadie, directeur général de l'Andra et Pierre Mutzenhardt, président de l'Université de Lorraine.

PARTENARIAT

L'ANDRA ET L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE : UN PARTENARIAT AMBITIEUX AU SERVICE DU TERRITOIRE

Depuis près de 25 ans, l'Université de Lorraine apporte ses savoirs et son excellence scientifique pour répondre aux besoins du projet Cigéo. Son partenariat historique avec l'Andra, reconduit en mai 2019, s'enrichit pour les besoins communs et propres des deux organismes, notamment afin de faire de Cigéo une opportunité de développement pour le territoire. Un objectif qui passe par la mobilisation des compétences de chacun au service de la recherche et de l'innovation scientifique, de la formation, de l'environnement et du développement territorial.

Frédéric Villieras, vice-président du conseil scientifique de l'Université de Lorraine. Du choix du site d'implantation du projet de stockage profond, aux études de faisabilité, jusqu'aux recherches les plus récentes

C'est à l'École nationale supérieure de géologie de Nancy que l'Andra et l'Université de Lorraine ont renouvelé leur partenariat, en mai dernier, en présence de Pierre-Marie Abadie, directeur général de l'Andra, Pierre Mutzenhardt, président de l'Université de Lorraine, et Claude Léonard, président du conseil départemental de la Meuse. Un lieu de rendez-vous qui traduit bien les liens historiques qui unissent les deux institutions du Grand Est depuis une vingtaine d'années. « Les géosciences et plus particulièrement

la géologie et la géomécanique ont vraiment fondé les relations entre l'Université et l'Andra, et ceci bien avant que l'Andra ne s'installe en Meuse/Haute-Marne », rappelle Frédéric Plas, le directeur de la recherche et développement de l'Andra (cf. Dossier p. 15).

Consolider les acquis scientifiques pour Cigéo

« Les laboratoires de recherche de l'Université ont été associés dès le début au projet Cigéo », complète



Tête d'une alvéole test HA dans une galerie du Laboratoire souterrain.



en appui à la demande d'autorisation de création : les travaux menés en collaboration avec l'Université de Lorraine ont contribué à nourrir le projet Cigéo à toutes ses étapes de développement. La maîtrise des processus géologiques, chimiques, géomécaniques ou encore hydrologiques et hydrogéologiques sont autant de sujets qui ont mobilisé les deux partenaires. « Ensemble, nous améliorons chaque jour la sécurité du projet de stockage que l'on souhaite faire en France. C'est d'ailleurs la grande force du projet français », poursuit Frédéric Villieras.

Pour Jacques Pironon, directeur du laboratoire GéoRessources, l'une des unités de recherche de l'université les plus mobilisées sur les activités de l'Andra, il faut se questionner, se réinventer sans cesse car Cigéo est un projet de long terme. « Les matériaux sur lesquels nous travaillons aujourd'hui ne seront peut-être pas les matériaux qu'on utilisera demain... Comment assurer la pérennité des résultats qu'on obtient aujourd'hui ? Comment pouvoir les interpréter demain ? Réussir à avoir une continuité dans la mesure et dans l'information au fil du temps est l'un des enjeux majeurs des travaux menés avec l'Andra. »

Un levier de développement pour le territoire

Si les deux partenaires poursuivront leur collaboration dans les disciplines historiques des géosciences, cette nouvelle signature marque cependant un tournant important à deux niveaux. D'abord, avec l'émergence de nouvelles disciplines au service du projet : robotique, maquette numérique, mathématiques appliquées, intelligence artificielle, ingénierie de la connaissance, etc.

Mais au-delà de la recherche scientifique, ce nouveau partenariat vise aussi à renforcer les liens de réciprocité entre l'Andra et l'Université de Lorraine, et à multiplier leur implication au service du territoire. C'est notamment le cas sur le volet de la formation. « L'Andra mettra officiellement son expertise et ses outils scientifiques à disposition de l'université pour ses propres besoins de recherche



Galerie du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne de l'Andra.

et de formation supérieure et continue », résume Frédéric Plas. Des besoins qui visent notamment à développer la composante d'ingénierie de l'université et son leadership international dans le cadre de l'initiative Lorraine université d'excellence. « Ce label, décerné à l'occasion du deuxième Programme investissement d'avenir, place l'Université de Lorraine parmi les plus grandes universités françaises », poursuit le directeur de la recherche et développement.

En outre, l'accent mis sur le développement local est porteur pour les acteurs économiques, comme le rappelle David Mazoyer, directeur du Centre de l'Andra en Meuse/Haute-Marne : « Un dispositif de formation continue comme le PoCes [pôle de compétences en environnement souterrain, ndlr], porté

par les Mines de Nancy, avec le soutien du GIP Objectif Meuse, s'inscrit pleinement dans le territoire : les stagiaires travaillent sur le site du Laboratoire souterrain et sont accueillis dans les locaux de la communauté de communes des Portes de Meuse. Ils viennent de la France entière, ce qui contribue au développement local et plus largement, au rayonnement de notre région. »

Autre sujet au cœur du partenariat : la perspective de l'implantation d'entreprises sur le territoire en lien avec le projet Cigéo. Les deux partenaires s'intéresseront aux moyens de favoriser une intégration socio-environnementale durable des développements économiques attendus. Des actions conjointes sur le territoire en faveur de la valorisation des connaissances et de la diffusion de la culture scientifique et technique sont également une des opportunités identifiées par les deux acteurs. •

800

C'est le nombre d'étudiants qui ont été reçus en 2018 au Centre de l'Andra en Meuse/Haute-Marne dans le cadre de séminaires ou de travaux pratiques (TP) organisés en collaboration avec les universités et les écoles du Grand Est.



Judith SAUSSE,
directrice de l'École nationale supérieure de géologie de Nancy

« Le Laboratoire souterrain est véritablement un TP grandeur nature pour nos étudiants.

L'Andra est déjà un partenaire qui nous accueille sur son Centre de Meuse/Haute-Marne,

mais ce partenariat favorisera et facilitera encore davantage nos échanges. La mise à disposition des outils scientifiques de l'Andra comme le Laboratoire souterrain, l'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE), mais aussi les forages, les piézomètres ou encore les modèles numériques, est un atout pour la formation de nos élèves ; tout comme la mise à disposition de données et d'échantillons dans le cadre des projets étudiants. »



RECHERCHE

L'ANDRA TESTE DES MATÉRIAUX INNOVANTS POUR LE FUTUR DE CIGÉO

Parce que Cigéo sera construit de manière progressive, il sera possible d'intégrer des technologies nouvelles au fur et à mesure de sa construction. L'un des sujets de progrès potentiel concerne les matériaux. Une journée dédiée aux recherches menées par l'Andra sur les matériaux innovants a ainsi été organisée en mai dernier par la direction de la R&D. Objectif : faire le point sur les différents projets de R&D et présenter les avancées obtenues.

Depuis une dizaine d'années, l'Andra travaille sur la thématique des matériaux innovants. Organisée en mai, une journée dédiée, ouverte aux partenaires de l'Agence, avec la participation de collaborateurs, de partenaires académiques et industriels, et en présence du président du conseil scientifique de l'Andra et d'un membre de la Commission nationale d'évaluation (CNE), a permis d'échanger et de partager les avancées des travaux réalisés. « Cigéo est un projet de long terme qui prévoit une période d'exploitation d'une centaine d'années », rappelle Nathalie Texier-Mandoki, du service colis et matériaux à la direction R&D de l'Andra. « Identifier les solutions possibles de demain et mener d'ores et déjà des études est essentiel pour être capable d'intégrer les nouvelles technologies le moment venu au fur et à

mesure de la construction de Cigéo. C'est une démarche responsable d'amélioration continue. »

La recherche de nouvelles solutions de matériaux vise notamment à remplacer partiellement l'acier qui est largement envisagé dans le projet Cigéo. Les géopolymères et les céramiques font partie des matériaux actuellement étudiés.

Des géopolymères à base d'argilites

Les géopolymères offrent des perspectives d'application intéressantes, notamment en raison de leur résistance à des températures jusqu'à 1 000°C. Un matériau géopolymère innovant, composé de kaolin¹ et d'argilites, est ainsi développé en partenariat avec l'Institut de recherche en céramique de Limoges (IRCER). Il pourrait être employé pour le chemisage (enveloppe de protection) des alvéoles de stockage destinées aux déchets de haute activité (déchets vitrifiés). Ce matériau innovant permettrait également de valoriser une partie des argilites extraites du creusement des ouvrages souterrains de Cigéo.

Des céramiques de haute résistance

L'Andra s'intéresse également aux matériaux en céramique, qui pourraient notamment être utilisés pour les conteneurs de stockage de déchets vitrifiés. Quasiment inaltérables, ils présentent cependant deux contraintes pour des conteneurs : la taille des pièces en céramique ainsi que l'opération de

soudure du couvercle qui doit être effectuée à une température limitée à 600°C/700°C.

Pour répondre à ces problématiques et valider la faisabilité des procédés, l'Agence collabore avec des partenaires industriels provenant d'autres secteurs d'activité que le nucléaire, comme la SAIREM, fabricant de fours professionnels, dans le cadre de la mise en place d'un procédé de scellement thermique par micro-ondes pour les conteneurs de déchets.

Autre partenaire de l'Agence : la société Bernardaud, porcelainier de référence, pour la production des pièces de céramique de grande dimension : « Enrichir nos savoir-faire en nous confrontant à de nouveaux sujets a toujours été la clé de notre réussite, déclare Charles Bernardaud, directeur du développement de Bernardaud.

Dans le cadre du projet SCCELLMA², nous fournissons notre expertise reconnue pour la fabrication de conteneurs en céramique en proposant des solutions adaptées à la future production à échelle industrielle. »

Des projets de développement de composites céramiques à basse température sont également en cours avec le secteur aéronautique. L'Andra prévoit d'ores et déjà de tester *in situ* ces matériaux, dans le Laboratoire souterrain de l'Agence en Meuse/Haute-Marne. •

¹ Argile réfractaire et friable, généralement de couleur blanche, utilisée en particulier dans la fabrication de la porcelaine.

² SCCELLement de surconteneur céramique par torche plasMA : projet accompagné par l'Andra suite à sa sélection dans le cadre d'un appel à projets innovants, organisé par l'Andra, en coopération avec l'ANR et avec le soutien du Programme investissements d'avenir.



Tube en composite géopolymère



Pour en savoir plus :
www.youtube.com/andrafr



CONCERTATION

ALIMENTER CIGÉO EN ÉNERGIE

UNE OPPORTUNITÉ DE DÉVELOPPEMENT POUR LE TERRITOIRE

Initiée en février 2019, la concertation sur les besoins énergétiques de Cigéo a franchi une étape importante le 6 juin à Échenay. Objectif ? Faire de l'approvisionnement énergétique de Cigéo une opportunité de développement durable pour le territoire.

Chauffer, ventiler, refroidir les bâtiments techniques et administratifs... Au total, Cigéo aurait besoin de 16 000 mégawatts par an d'énergie thermique pour fonctionner.

« La première solution que nous avons envisagée était le gaz depuis le réseau de transport de gaz naturel de GRTgaz, rappelle Frédéric L'Honneur, chargé d'affaires pour les opérations d'aménagements hors site du projet Cigéo. Nous souhaitons être exhaustifs et analyser les alternatives qui permettraient de limiter nos émissions de CO₂. » Une étude d'opportunités commandée par l'Andra au bureau d'études Egis en 2018 a permis de répertorier toutes les solutions d'approvisionnement énergétiques envisageables.

Trois sources d'énergie à privilégier

Énergie solaire, biomasse, géothermie, méthanisation, récupération de chaleur... Différentes solutions ont été présentées durant une conférence animée par des experts du secteur de l'énergie (Egis, ADEME, Dreal). « Lors de cette première réunion, la biomasse, la récupération de chaleur et la méthanisation ont été privilégiées par rapport à la géothermie et à l'énergie solaire », explique Frédéric L'Honneur. En effet, ces deux dernières technologies exigeaient un accroissement de l'emprise au sol avec un rendement ne permettant pas de garantir l'apport thermique. Deux ateliers de travail réunissant les élus, les chambres d'agriculture, les agriculteurs, les acteurs forestiers et les industriels du territoire ont ensuite mis en lumière les atouts et



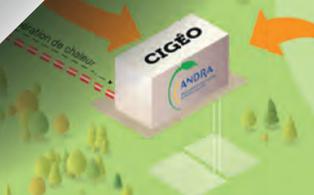
les inconvénients des sources d'énergie privilégiées : la récupération de chaleur, liée à la production de charbon de bois par Carbo France, une entreprise du territoire ; la biomasse avec la création d'une ou plusieurs chaudières biomasse pour alimenter Cigéo voire les communes alentour ; et le biogaz avec la création de plusieurs unités de méthanisation (cf. p. 10).

Trois options à développer

Des différents travaux découlent trois grandes options. L'option actuellement retenue et à approfondir par l'Andra est l'utilisation de chaufferies biomasse sur la zone descendrière et sur la zone puits, associées à des chaufferies gaz en appoint. Ensuite, le public a choisi deux options alternatives à étudier. La première prévoit la création d'une chaufferie biomasse centralisée (externe à Cigéo) couplée à un réseau de chaleur, pour valoriser la filière bois du territoire, toujours associée à des chaudières gaz (internes à Cigéo) pour lisser les consommations de pointe et assurer la sûreté de fonctionnement. « Ce scénario s'appuie sur l'usine de Carbo France à proximité de Cigéo (cf. interview p. 11), en récupérant la chaleur dégagée des fours et des déchets de bois impropres à la fabrication du charbon. Une solution qui permettrait également de centraliser la production de chaleur tout en limitant

les transports et les émissions de CO₂ », précise Frédéric L'Honneur. La seconde option consisterait à implanter plusieurs unités de méthanisation reliées entre elles par un réseau de gaz desservant le territoire et Cigéo, « un moyen de valoriser les déchets agricoles du territoire et de développer cette filière dans la région ». Près d'une centaine de participants ont assisté aux différentes réunions. L'Andra va maintenant avancer avec les acteurs du territoire autour des deux scénarios alternatifs proposés. « L'objectif sera d'affiner le cadrage technique, d'identifier les acteurs concernés, les financements complémentaires potentiels, les calendriers, etc. À l'issue, les études plus détaillées pourront être lancées », explique Frédéric L'Honneur. •

Quelles opportunités sur le territoire pour alimenter Cigéo en énergie ?



Quelles opportunités sur le territoire pour alimenter Cigéo en énergie ?

Les besoins énergétiques de Cigéo pour le chauffage des installations de surface et le traitement de l'air (température, hygrométrie¹) des installations souterraines représentent **16 000 MWh par an**. La concertation qui a été menée sur le sujet a retenu trois sources d'énergie thermique alternatives aux énergies fossiles. Objectif : tirer profit des ressources disponibles sur le territoire pour favoriser son développement.

1 LA BIOMASSE OU BOIS-ÉNERGIE

Comment ça marche ?

La combustion du bois produit de la chaleur.

Pour couvrir les seuls besoins en énergie thermique de Cigéo, une chaudière biomasse nécessiterait **6 600 t/an** de bois. La Haute-Marne, la Meuse ou encore les Vosges offrent les ressources en bois suffisantes².

Les atouts de cette énergie

- Utiliser les résidus de coupes « nobles » de bois
- Valoriser les déchets d'élagage
- Développer une installation qui pourrait aussi alimenter les communes autour de Cigéo.

MEUSE

HAUTE-MARNE

VOSGES

2 LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR SUR LE TERRITOIRE

Un acteur, générant un surplus d'énergie, est identifié à ce jour sur le territoire : l'entreprise Carbo France, leader dans la production de charbon de bois en France.

Comment ça marche ?

- La carbonisation du bois produit du charbon, un procédé qui provoque une perte d'énergie récupérable dans le réseau de chaleur de Cigéo
- Carbo France génère par ailleurs des déchets de bois non utilisés dans son procédé industriel, qui pourraient être réutilisés dans une chaudière biomasse pour Cigéo.

Les atouts de cette énergie

- Récupérer la chaleur produite par le procédé industriel de Carbo France
- Valoriser **6 000 t/an** de déchets de bois non utilisés actuellement par Carbo France
- Éviter le transport de ces 6 000 t de bois en installant une chaudière biomasse à proximité du site.

CARBO FRANCE

Récupération de chaleur

CIGÉO

ANDRA
Autorité nationale de sûreté et de gestion des déchets radioactifs



LES AUTRES SOURCES D'ÉNERGIES ÉTUDIÉES PAR LE TERRITOIRE DANS LE CADRE DE LA CONCERTATION

LE SOLAIRE

Pour couvrir l'ensemble des besoins énergétiques de Cigéo, il aurait fallu installer près de 22 600 m² de panneaux solaires, ce qui aurait nécessité plusieurs hectares pour l'installation des batteries associées.

LA GÉOTHERMIE

Un système géothermique, qui transforme la chaleur du sous-sol en énergie, ne couvrirait que très partiellement les besoins de Cigéo.

¹ Hygrométrie: poids d'eau dans l'air ou taux d'humidité de l'air

² Le projet Cigéo représenterait seulement 0,5 % de la récolte actuelle de bois-énergie sur la région Grand Est

³ Fumier, déchets d'équarrissage, végétaux, déchets alimentaires...

3 LE BIOGAZ OU MÉTHANISATION

Comment ça marche ?

La production de biogaz à partir de la fermentation de déchets organiques³ (méthanisation) produit une énergie renouvelable.

La Meuse et la Haute-Marne sont en capacité de produire les ressources nécessaires pour alimenter les unités de fabrication de biogaz.

Les atouts de cette énergie

- Valoriser la matière restante après méthanisation pour faire de l'épandage ou de l'engrais
 - Valoriser l'excédent de chaleur produit par l'unité de méthanisation pour développer des filières connexes (le séchage de la luzerne, par exemple)
 - Revendre l'excédent de chaleur produit sous forme d'électricité.



Ils témoignent

« Nous aimerions créer une source supplémentaire d'approvisionnement en gaz pour desservir notre territoire. »

« L'enjeu pour nous est de faire en sorte que le territoire tire des bénéfices de Cigéo. Pour sécuriser le scénario "méthanisation" sur les 100 ans que devrait durer Cigéo, nous avons donc demandé qu'une source supplémentaire d'approvisionnement desserve Cigéo ainsi que les villages, usines et entreprises du territoire. »

Laurent PHILOUZE,
maire de la commune de Ménil-sur-Saulx
et président du Pays barrois

« L'arrivée de Cigéo serait une très belle opportunité pour nous. »

« Nous travaillons avec le CEA sur un nouveau four de carbonisation que nous allons installer dans une nouvelle usine dans la zone Bure-Saudron entre 2020 et 2021. Nous aimerions pouvoir valoriser la chaleur qui se dégage du charbon de bois que nous produisons ainsi que nos 6 000 tonnes annuelles de déchets de bois. L'arrivée de Cigéo serait donc pour nous une très belle opportunité de créer quelques emplois et de diversifier nos activités. La concertation a été l'occasion de donner un avis de terrain très réaliste. Et cela a fait évoluer les choses. »

Nadège SIMON,
gérante de Carbo France

« Le projet Cigéo concerne au premier plan les agriculteurs. »

« Nous avons déjà mené des réflexions sur les besoins des agriculteurs par rapport à la production de biogaz [par méthanisation, ndlr]. Il était donc utile que l'on participe à la concertation pour discuter des attentes des uns et des autres et voir comment bâtir un projet ensemble. C'est important d'avoir ce genre de débat afin que les gens puissent réagir, donner leur avis, représenter leurs intérêts mutuels. Cela permet d'y voir plus clair et d'avoir une discussion avec tous les acteurs concernés. Les différentes opérations qui pourraient avoir lieu avec le projet Cigéo concernent au premier plan les agriculteurs. Il faut donc que la balle reste dans le camp de ceux qui sont sur le terrain et qu'ils puissent faire des choix en connaissance de cause. »

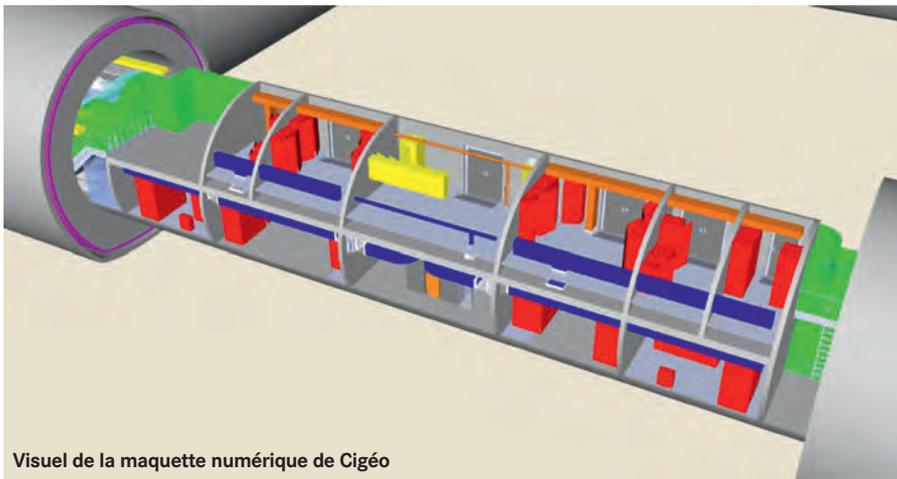
Gilles FRENE,
responsable du département environnement
à la chambre d'agriculture de la Meuse



TECHNOLOGIES

LE JUMEAU NUMÉRIQUE, UN ATOUT ESSENTIEL POUR CIGÉO

Voilà déjà plusieurs années que l'Andra réalise progressivement une maquette numérique de Cigéo. Dans le cadre d'un projet de cette ampleur, qui intègre notamment une multitude de sous-traitants, le « jumeau » virtuel permet un partage de l'information au sein d'une seule interface collaborative capable de gérer l'ensemble des données du projet, d'assurer leur traçabilité et d'évoluer au fil du temps durant toutes les phases de la vie de Cigéo.



Visuel de la maquette numérique de Cigéo

« Quand on veut fabriquer quelque chose, on a besoin de prototypes pour effectuer des tests. Mais les prototypes physiques coûtent cher et doivent être refaits à chaque évolution de conception. Grâce à l'informatique, on a pu développer des maquettes numériques qui contournent ces limitations et permettent de multiplier les tests », explique Gérard Bourriaux, chef de service à la direction de l'ingénierie, en charge de la maquette numérique à l'Andra. Les premières maquettes du genre ont été développées dans l'automobile, dans l'aéronautique puis pour les biens de consommation courante avant de faire leur apparition dans le secteur du bâtiment, des infrastructures et maintenant des sites industriels, comme le projet Cigéo.

Une représentation unique

La maquette numérique stocke la description géométrique de tous

les éléments qui constituent le projet Cigéo (descenderies, puits, alvéoles de stockage, systèmes de ventilation, bâtiments, etc.). Autant d'informations intégrées au sein d'une seule et même base de données, elle-même en lien avec les informations qui permettent de connaître les caractéristiques détaillées des différents éléments du stockage. « Nous gérons deux niveaux de données, complète Gérard Bourriaux. L'un basique, qui concerne toutes les informations d'un élément représenté, par exemple, pour la porte d'un bâtiment : son type, sa référence, son fournisseur... et l'autre plus avancé, qui permet de retrouver les normes techniques qui ont conduit à choisir ce type de porte, le matériau de construction, etc. »

Ainsi, si l'on souhaite faire évoluer le bâtiment au cours du développement du projet, il sera possible de réexaminer les paramètres techniques de la porte. De même, la maquette

numérique permet de garder la mémoire des différentes configurations étudiées lors de la conception du projet. « Dans cent ans, nous pourrions retrouver l'historique des études de Cigéo, comprendre les choix qui ont été faits et faire de nouveaux choix en connaissance de cause », détaille Gérard Bourriaux. Le jumeau numérique garantit ainsi la consolidation des connaissances acquises et leur transmission à tous les intervenants présents et futurs.

Un outil essentiel depuis la conception jusqu'à l'exploitation de Cigéo

La conception de Cigéo fait en effet intervenir plusieurs sous-traitants et équipes spécialisées. Chacun produit une partie de la maquette avec les données qui le concernent. Parties qui sont ensuite assemblées puis contrôlées par l'Andra. La maquette est essentielle pour détecter d'éventuelles incohérences entre ces parties, ou avec des éléments transversaux tels que la ventilation ou l'alimentation en eau. « Aujourd'hui, la maquette nous aide à concevoir Cigéo. Mais elle aura également tout son sens en période de construction, car nous pourrions fournir ces éléments aux entreprises qui mèneront les travaux, ajoute Gérard Bourriaux. Ensuite, en période d'exploitation [période pendant laquelle les colis de déchets radioactifs seront stockés dans Cigéo, ndlr], elle sera encore essentielle pour nous permettre de savoir l'endroit exact où se trouve tel ou tel élément pour réaliser la maintenance par exemple. » Outil précieux pour tous les intervenants sur le projet, la maquette numérique est également innovante en matière de visualisation. Les dernières avancées numériques sont actuellement testées par l'Agence, comme des lunettes de réalité virtuelle, qui permettent de s'immerger au cœur de Cigéo. •



MÉMOIRE



L'œuvre d'Olivier Terral « *Devoir de mémoire* » à la rencontre du public

INTERVIEW DE...

OLIVIER TERRAL,
artiste

Dans le cadre de son programme « Mémoire pour les générations futures », l'Andra mène une réflexion permanente sur la transmission de la mémoire de ses centres de stockage. Parmi les pistes étudiées : l'art. Rencontre, un brin philosophique, avec l'artiste Olivier Terral, dont l'œuvre « *Devoir de mémoire* » a été conçue avec les riverains du Centre de l'Andra en Meuse/Haute-Marne. Pendant deux ans, l'artiste a invité les visiteurs du Laboratoire souterrain, puis du festival RenaissanceS à Bar-le-Duc à déposer leurs empreintes digitales dans le cadre d'une œuvre dédiée. Une invitation à s'interroger sur l'empreinte que chacun souhaite laisser de son passage sur terre...

Pourriez-vous nous présenter le concept de votre œuvre : comment répond-elle à la problématique de la mémoire ?

Olivier Terral : Mon idée était de réaliser un tableau à partir d'empreintes pour faire un parallèle entre l'empreinte sur le tableau et celle que l'on va laisser avec nos déchets radioactifs. Je l'ai baptisé « *Devoir de mémoire* » : le devoir de transmettre aux générations futures, la mémoire de ces déchets.

Trois mille empreintes ont été laissées sur un tableau noir. Les treize niveaux de gris utilisés font apparaître une image : un passage de relais entre deux mains.



Pourquoi le groupe mémoire a fait appel à vous ?

O. T. : J'ai proposé un projet concret, réalisable facilement et accessible au grand public. Le « groupe mémoire » a également apprécié la notion de communauté. Le lien entre tous mes travaux est de rendre les gens actifs face à un événement : la maladie, un attentat, et ici, une responsabilité collective. L'art est un excellent moyen

d'éveiller les consciences et poser son empreinte est symboliquement très fort. C'est un engagement, une caution.

Que reprenez-vous de ce projet ? Quelles suites pourra-t-on lui donner ?

O. T. : Cela m'a permis de me questionner sur la manière de conserver l'histoire du tableau. Dans 100 000 ans, tout le monde aura oublié comment il a été fait. Nous avons donc inscrit un message à l'arrière du tableau : « 2017 – Avis aux générations futures : ces empreintes, reflet de nos choix présents sur la gestion des déchets radioactifs sont votre héritage et impacteront vos décisions futures. Ces marques sont des jalons dans le temps, en espérant que cette mémoire ne meure jamais. Nous vous invitons à réfléchir sur votre rôle dans cette transmission et à compléter cette œuvre avec vos connaissances présentes. » C'est une invitation pour les générations futures à continuer ce tableau et à être parties prenantes du stockage des déchets.

« IL S'AGIT DU DEVENIR DE NOS ENFANTS »

« La transmission de la mémoire est un sujet qui me passionne. Cela crée du lien entre les générations. Grâce à ce tableau participatif, chacun, chacune, quels que soient son âge et ses origines, a pu participer. C'était très touchant et je suis très contente d'avoir fait partie de ce projet, car il s'agit du devenir de nos enfants et de veiller à la sécurité des générations futures. »

Marie-Agnès Blondeau Mougeville,
membre du « groupe mémoire » (Joinville)



MÉTIER

FEMME ET SCIENTIFIQUE : DEUX INGÉNIEURES DE L'ANDRA PRENNENT LA PAROLE

Les femmes sont encore minoritaires dans les formations et les métiers scientifiques et technologiques. Informer sur ces filières pour susciter des vocations plus nombreuses, tel était l'objectif de l'exposition « *Les filles, osez les sciences* »¹, dont l'Andra était partenaire. Au programme : des portraits et des témoignages, dont ceux de deux ingénieures de l'Agence. Quel a été leur parcours de scientifiques ? Sophia Necib, ingénieure corrosion au Centre de Meuse/Haute-Marne, et Elvina Blot, ingénieure d'exploitation aux centres de l'Aube racontent...

En quoi consiste concrètement votre travail ?

Sophia Necib : J'étudie la corrosion des matériaux métalliques utilisés pour le stockage des déchets radioactifs à vie longue et réalise des expériences dans le Laboratoire souterrain de l'Andra en Meuse/Haute-Marne. Je suis également chargée du suivi de projets relatifs au stockage en profondeur avec des laboratoires de recherche internationaux.

Elvina Blot : Aux centres de l'Aube, mon travail consiste à gérer l'activité industrielle de la prise en charge des colis de déchets radioactifs de faible et moyenne activité principalement à vie courte. Il s'agit de planifier les activités et de m'assurer de la qualité de la prestation d'exploitation vis-à-vis notamment des engagements pris avec l'Autorité de sûreté nucléaire et de la protection de l'environnement.



Elvina Blot

Quand et pourquoi avez-vous décidé d'exercer ce métier ?

S. N. : Mon stage dans un laboratoire et une première expérience dans un grand groupe spécialisé au Royaume-Uni m'ont motivée pour approfondir ma connaissance des problématiques de corrosion. Je les ai étudiées dans le cadre d'une thèse qui portait sur les réacteurs nucléaires. C'est ainsi que j'ai découvert cet univers.

E. B. : La physique nucléaire avec les contraintes qu'elle impose à l'industrie m'a très vite intéressée dans mon cursus d'ingénieur. Après un premier poste dans le secteur du démantèlement, je gère aujourd'hui les activités d'un centre de stockage : planification, organisation et suivi des opérations de la prise en charge des colis jusqu'au stockage lui-même.



Sophia Necib

Au cours de votre formation ou de votre parcours professionnel, avez-vous connu des freins ?

S. N. : Ma famille m'a toujours encouragée dans tout ce que j'entreprends. Je n'ai jamais ressenti de frein du fait d'être une femme, mon domaine de recherche étant globalement mixte. D'une manière générale, le regard de la société est en train de changer sur les femmes scientifiques.

E. B. : Je suis aussi issue d'une famille qui m'a laissée libre de suivre ma propre voie et de faire mes choix. Même si dans mon parcours, j'ai essentiellement travaillé avec des équipes masculines, je n'ai pas rencontré de réelles difficultés.

Qu'apportent les femmes à la science selon vous ?

Auriez-vous un conseil à donner à une jeune fille qui se destinerait à un métier scientifique ?

S. N. : Avoir des modèles qui nous montrent qu'il est possible de réussir, c'est important. Le mien depuis toujours ? Marie Curie ! Il faut croire en soi et progresser à son rythme, avec l'envie d'apprendre et d'aller plus loin. C'est le propre même de la recherche scientifique, qu'on soit un homme ou une femme.

E. B. : La question de la différence hommes/femmes ne se pose pas dans nos métiers. Le cerveau scientifique n'est pas plus féminin que masculin. Mon conseil : ne pas se laisser influencer par les stéréotypes que véhiculent la société, les médias. Suivre son propre chemin, ses envies et ses objectifs ! •

¹ Exposition à l'initiative notamment d'Accustica, association de promotion des métiers de la science, présentée dans des établissements scolaires secondaires du Grand Est durant plusieurs mois, et disponible en prêt sur www.accustica.org.



Les géosciences: au cœur des activités de l'Andra

Pour étudier le stockage géologique profond et concevoir Cigéo, l'Andra mène depuis 25 ans des recherches et expérimentations dans différentes disciplines scientifiques. Géologie, géophysique, géochimie, hydrogéologie, etc., qu'il s'agisse d'analyser l'environnement géologique du stockage ou les interactions entre les matériaux et la roche, de comprendre le comportement de l'argile ou l'évolution du site d'accueil de Cigéo... les géosciences constituent le fondement du projet de stockage géologique et se trouvent au cœur des activités de l'Andra.

Mais les connaissances acquises et les outils scientifiques développés par l'Agence dans ce domaine ne contribuent pas uniquement au projet Cigéo. Ils forment également un socle de données très précieuses pour l'ensemble de la communauté scientifique française et internationale. Focus sur une expertise partagée.



Le milieu géologique, fondement du stockage géologique profond

Le principe du stockage géologique consiste à placer les colis de déchets radioactifs dans des ouvrages construits en profondeur, dans le sous-sol, et à tirer parti des propriétés naturelles de la roche pour contenir les éléments radioactifs, et très fortement ralentir leur déplacement. Les quelques éléments radioactifs les plus mobiles seront ainsi retenus dans la roche pendant plusieurs centaines de milliers d'années, et ne présenteront plus aucun danger pour l'Homme et l'environnement. Le milieu géologique joue donc un rôle fondamental dans la sûreté à long terme du stockage. C'est pourquoi l'Andra l'étudie sous toutes les coutures.



L'argile du Callovo-Oxfordien étudiée en Meuse/Haute-Marne

Au milieu des années 1990, des campagnes géologiques pour l'implantation d'un laboratoire souterrain ont été menées sur quatre sites en France (la Meuse, la Haute-Marne, le Gard et la Vienne). Objectif : étudier la faisabilité d'un stockage profond pour les déchets radioactifs les plus dangereux. « Les sites de Meuse et de Haute-Marne ont fusionné en un seul site car il s'agissait de la même couche géologique argileuse située dans le Bassin parisien. Ce choix est issu de la convergence de deux critères : l'un politique – les sites devaient bien sûr être candidats pour accueillir un laboratoire souterrain en vue d'un stockage sur le site même – et l'autre géologique, rappelle Frédéric Plas,

directeur de la recherche et développement à l'Andra. Car c'est bien la géologie qui est le fondement de la sûreté du stockage sur le prochain millier d'années. »

Un environnement géologique exceptionnel

Étudié par les géologues depuis des décennies, le Bassin parisien s'est formé il y a 300 millions d'années. Il est l'un des bassins sédimentaires les plus stables au monde, avec une quasi-absence d'activité sismique, et se présente comme une cuvette avec un empilement de couches sédimentaires majoritairement calcaires et argileuses. Parmi ces couches, une formation argileuse, d'âge Callovo-Oxfordien

(COX). Déposée il y a 160 millions d'années, elle a été peu déformée depuis, ce qui préjuge de son évolution lente et peu perturbée sur le prochain million d'années. À cette stabilité exceptionnelle s'ajoutent les propriétés remarquables de cette couche argileuse pour le stockage de déchets radioactifs (lire l'interview ci-contre). « En 1998, sur la base de dossiers remis par l'Andra et de leur instruction par des autorités indépendantes, le Gouvernement a demandé à l'Agence de poursuivre les études de faisabilité d'un stockage géologique profond et a autorisé la construction d'un laboratoire souterrain de recherches en Meuse/Haute-Marne en vue de l'implantation d'un centre de stockage. L'ensemble des études de caractérisation de la roche qui ont suivi (profondeur, épaisseur, minéralogie, géomécanique, perméabilité à l'eau, rétention des éléments radioactifs, etc.) ont permis de montrer la faisabilité du stockage profond des déchets radioactifs les plus dangereux dans les argilites du Callovo-Oxfordien, sur le site de Meuse/Haute-Marne. Et ce à la fois en termes de réalisation et de garantie sur la sûreté à long terme, poursuit Frédéric Plas. Nous nous sommes appuyés notamment sur des études du Bureau de recherche géologique et minière (BRGM) pour définir des zones potentielles d'implantation du stockage. Nous sommes partis de données existantes, que nous avons ensuite précisées, en resserrant petit à petit la zone, d'abord



sur 250 km² (dossier de 2005), puis sur 30 km² (dossier de 2009). Sur ces "timbres-poste" à l'échelle du Bassin parisien, nous avons mené des investigations extrêmement détaillées : depuis la surface à l'aide de campagnes de reconnaissances sismiques 2D et 3D et de nombreux forages, et au fond avec des expérimentations dans le Laboratoire souterrain de l'Andra. »

Une couche argileuse aux propriétés remarquables

Épaisse de 140 à 160 mètres et située en moyenne à - 500 m de profondeur, la couche argileuse du Callovo-Oxfordien susceptible d'accueillir le stockage présente des propriétés remarquables du point de vue du confinement de la radioactivité : une très faible perméabilité (la roche ne laisse quasiment pas passer l'eau) avec une très bonne capacité à retenir les éléments radioactifs. Autre qualité : elle s'avère particulièrement homogène sur une échelle de 250 km². « Si cette couche est le pilier du stockage, il est nécessaire de l'appréhender dans son environnement global, en prenant notamment en compte les formations géologiques qui l'encadrent, précise Frédéric Plas. Nous nous sommes par exemple assuré de l'absence de fractures au sein de cette zone de 250 km² ou de l'absence de ressources exceptionnelles ou particulières (pétrole, gaz, charbon, géothermie, etc.). » Autant d'éléments qui concourent à assurer la sûreté à long terme du stockage des déchets radioactifs. •



3 QUESTIONS À...

PIERRE PELLENARD,
géologue à l'université de Bourgogne à Dijon, spécialiste des sédiments et des argiles

Comment s'est formée la couche géologique qui accueillera le futur stockage ?

Au cours du Jurassique¹, l'actuel Bassin parisien correspondait à une mer peu profonde, bordée par différents massifs montagneux (le Massif central, le Massif armoricain, le Massif ardennais). Leur érosion a permis d'accumuler des sédiments constitués majoritairement de minéraux argileux, de silt et de carbonates. La couche du Callovo-Oxfordien est marquée par sa richesse en argiles en raison d'une production réduite des carbonates à cette époque.

Qu'est-ce qui permet aujourd'hui de conclure à la stabilité de cette couche géologique pour le prochain millier d'années ?

Pour un géologue, la stabilité se mesure à l'échelle de plusieurs dizaines à centaines de milliers d'années. On est ici dans une zone peu active tectoniquement c'est-à-dire qui ne subit pas de déformation importante et ne présente quasiment pas d'activité sismique. Ce qui contribue aussi à la stabilité du site de Cigéo, c'est l'épaisseur importante de la couche argileuse (environ 150 m) et sa

profondeur (500 m). Si cela avait été plus proche de la surface, au gré de l'érosion et des changements climatiques, un surcreusement mettant à nu ces roches aurait pu constituer un risque. Outre la stabilité de cette couche, un deuxième aspect important pour l'Andra est son homogénéité horizontale et verticale. Les propriétés de la couche (géotechnique, perméabilité...) sont en effet pleinement dépendantes de la composition sédimentaire et de la diversité minérale des dépôts argileux. La compréhension des mécanismes de formation et d'évolution au cours du temps de ces sédiments argileux est donc primordiale. L'épaisseur, la profondeur et l'homogénéité des argilites du Callovo-Oxfordien sont indéniablement des atouts géologiques majeurs pour le stockage au sein de cette couche.

Comment fait-on pour l'étudier ?

La sédimentologie permet d'identifier les variations des dépôts au cours du temps et d'en comprendre les mécanismes sous-jacents. L'étude des argiles permet notamment de reconstituer les sources potentielles d'alimentation du bassin sédimentaire. Elle permet également de fournir des éléments de réponses quant aux évolutions climatiques et tectoniques. En effet, le climat et en particulier les précipitations vont conditionner la formation des sols sur les terres émergées proches par altération chimique des roches mises à nu (granites, roches métamorphiques...) et déterminer l'intensité du ruissellement sur les continents. Les évolutions climatiques et/ou tectoniques qui prévalaient au moment du dépôt des sédiments auront ainsi un rôle déterminant sur la nature des argiles formant la couche du Callovo-Oxfordien et donc sur ses propriétés actuelles.

¹ Période géologique qui s'étend de - 201 à - 145 millions d'années.

LE RÉACTEUR NATUREL D'OKLO, AU GABON

La mine d'uranium d'Oklo, au Gabon, renferme le seul réacteur nucléaire naturel connu. Il a constitué une base d'informations particulièrement intéressante pour l'étude du stockage géologique de déchets radioactifs.

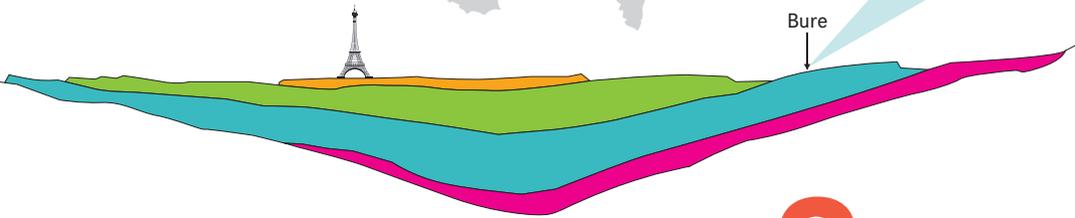
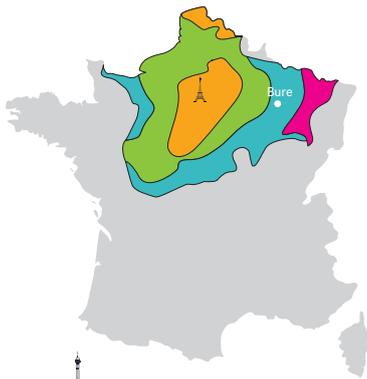
Des circonstances particulières ont conduit, il y a 2 milliards d'années, à des réactions en chaîne dans le sous-sol de ce site. Les zones où elles se sont produites sont restées confinées sur plusieurs centaines de mètres dans une région qui n'a connu aucun bouleversement géologique important en deux milliards d'années.

Ce n'est qu'à une époque très récente que des phénomènes d'érosion ont amené les réacteurs au voisinage de la surface, permettant alors la découverte par l'homme des traces de produits de fission (éléments radioactifs produits lors de réactions en chaîne) devenus inoffensifs. Très étudié dans les années 1980-1990, cet exemple a notamment permis de conforter la capacité d'une formation argileuse à pouvoir confiner les éléments radioactifs sur des échelles de temps géologiques (à Oklo, les éléments radioactifs n'ont eu que quelques centimètres de déplacement dans la plupart des cas, quelques mètres au plus).



LES GÉOSCIENCES À L'ANDRA, POUR QUOI FAIRE ?

Depuis 25 ans, l'Andra mène de nombreuses recherches et expérimentations qui mobilisent plusieurs disciplines dans le domaine des géosciences. Objectif : répondre à quatre grandes questions posées par le stockage géologique profond.



Callovo-Oxfordien

1

Quel est le milieu géologique sélectionné pour le stockage ?

Le cadre géologique choisi pour accueillir le stockage est celui du Bassin parisien, un cadre très bien caractérisé, à l'échelle régionale comme à l'échelle locale.

Au sein de ce bassin sédimentaire, l'un des plus stables au monde formé il y a 300 millions d'années, se trouve le **Callovo-Oxfordien** (ou COX), une couche argileuse âgée de 160 millions d'années, située à environ 500 m de profondeur et **épaisse de 140 à 160 m** sur le site d'accueil du stockage en Meuse/Haute Marne.

Les études menées par l'Andra ont visé à connaître précisément l'histoire de cette formation géologique, sa structure et ses propriétés, en particulier celle de la couche du Callovo-Oxfordien à l'endroit du futur stockage (homogénéité de la roche, présence ou non de fractures, circulation de l'eau, etc.).

Disciplines mobilisées : géologie, géophysique, sédimentologie, tectonique...

2

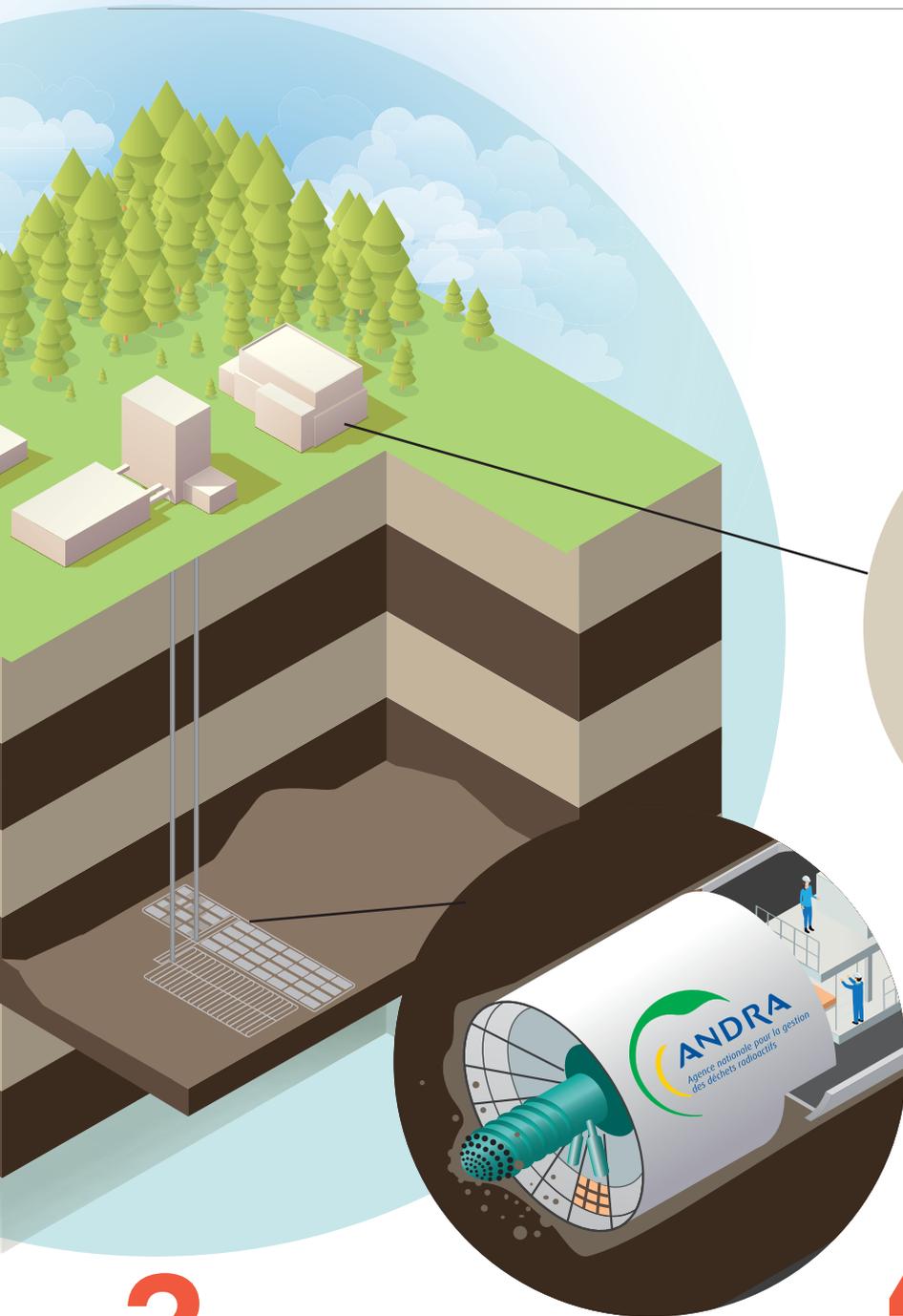
Comment la couche argileuse du Callovo-Oxfordien limite-t-elle le déplacement des éléments radioactifs ?

On étudie les propriétés physicochimiques de la couche du Callovo-Oxfordien, notamment l'eau qui y circule car c'est un des éléments qui peuvent favoriser le déplacement des éléments radioactifs : **quelle est la composition chimique de l'eau ? Quelle est sa nature ? Comment circule-t-elle et à quelle vitesse ? Comment la roche ralentit-elle ou empêche-t-elle le déplacement des éléments radioactifs ?**

L'objectif est de comprendre finement comment les éléments radioactifs se déplaceront ou non au sein de la roche. Les études ont montré que l'essentiel des éléments radioactifs resteront piégés dans le stockage ou à proximité, dans la roche. Cela s'explique par ses fortes capacités de rétention. Seuls quelques éléments radioactifs pourront migrer hors du stockage, dans la couche du COX, mais de manière très lente : cela prendrait plusieurs centaines de milliers d'années.

On s'intéresse aussi aux couches géologiques situées au-dessus et en dessous du COX, pour comprendre comment se déplaceraient des éléments radioactifs sortant de la couche argileuse.

Disciplines mobilisées : géochimie, hydrogéologie
mais aussi... thermodynamique, chimie des solutions, rétention



3

Quels sont les effets du stockage sur la roche et comment les limiter ?

Les géosciences permettent aussi d'étudier la façon dont le stockage modifie ou non la roche. Ces impacts sont de plusieurs natures :

- **Le fait de creuser des galeries** endommage inévitablement la roche à proximité. Les méthodes de creusement et l'orientation des alvéoles de stockage et des galeries sont déterminées de manière à préserver une épaisseur suffisante de roche non endommagée au-dessus et en dessous.
- **Certains déchets stockés seront chauds.** Afin de préserver les propriétés de la roche, le stockage est conçu pour que la température maximale de la roche n'excède pas les 100 °C.
- **L'apport de nouveau matériaux dans la roche**, comme le béton, crée une modification chimique. Les études ont montré que les perturbations ainsi engendrées sur la roche sont limitées.

Disciplines mobilisées : géochimie, géomécanique
mais aussi... physique et chimie des matériaux

4

Comment le site évoluera-t-il sur le très long terme ?

Pour se projeter dans le futur, on s'appuie sur la connaissance du passé, la connaissance de la roche acquise grâce au Laboratoire souterrain et les **outils de modélisation et de simulation**. On étudie ainsi les grandes forces tectoniques mises en jeu par le passé dans le Bassin parisien et on les projette sur le prochain million d'années. On s'intéresse également à l'**évolution du climat** car elle a un impact direct sur l'érosion. Le stockage est implanté à 500 m de profondeur afin de l'éloigner des effets de l'érosion en surface. On prend en compte à la fois l'évolution naturelle (succession de phases glaciaires liées à la position de la Terre par rapport au Soleil par exemple) et les effets liés au réchauffement climatique, afin de couvrir un ensemble de scénarios climatiques plausibles sur le prochain million d'années et les conséquences sur le stockage.

Disciplines mobilisées : géologie, géodynamique
mais aussi... climatologie



Des outils scientifiques uniques au service de Cigéo... et de la communauté scientifique

Toutes les informations obtenues grâce au Laboratoire souterrain et aux campagnes d'investigations géologiques depuis la surface constituent un socle de connaissances qui nourrit le projet Cigéo... mais pas seulement! Il vient aussi alimenter la communauté scientifique, à travers notamment les nombreux partenariats noués entre l'Andra et d'autres organismes de recherche.



Etude de carottes d'argile dans la carothèque du Centre de Meuse/Haute-Marne

Le Laboratoire souterrain : un accès direct à la roche

L'Andra a commencé à travailler sur la roche susceptible d'accueillir le futur stockage dès 1994 à partir des données existantes et de celles obtenues grâce aux investigations géologiques menées à l'échelle régionale. En 1998, l'autorisation de construire le Laboratoire souterrain de l'Andra à Bure a permis à l'Agence d'accéder à la roche à environ 500 m de profondeur. « Le Laboratoire souterrain nous permet d'accéder à une échelle intermédiaire entre l'échantillon de quelques centimètres issu d'une carotte de forage et les profils obtenus grâce aux campagnes sismiques¹ qui donnent une vision des couches géologiques sur plusieurs centaines de mètres de profondeur et de kilomètres carrés, explique Emilia Huret, adjointe au directeur de la recherche et développement de l'Andra. Il nous permet également de disposer de quantité de roche suffisante pour en étudier

les propriétés, Et cela, en conditions réelles. »

Deux bases de données recensent les mesures effectuées ponctuellement ou en continu par les quelque 12 000 capteurs qui équipent le Laboratoire souterrain et par les équipements de surface. À cela s'ajoutent les données récoltées dans le cadre de l'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE), dédié au suivi environnemental en surface.

La carothèque : une bibliothèque d'échantillons

Plus de 1 000 forages ont été réalisés au Laboratoire souterrain depuis les années 2000, soit 12 km de carottes dans le Callovo-Oxfordien. Ces carottes s'ajoutent à celles issues des investigations géologiques menées en surface. Elles sont conservées dans une carothèque gérée par l'Andra². Un outil que l'Agence n'hésite pas à mettre à la disposition d'équipes de recherche ou d'étudiants. « Nous sommes régulièrement sollicités par la communauté

scientifique pour accéder à des descriptions ou des échantillons issus de nos forages, souligne Emilia Huret. Des discussions sont par ailleurs en cours avec d'autres organismes qui disposent de leurs propres carothèques pour développer un projet de carothèque nationale. »

Des outils à la disposition de la communauté scientifique

Les recherches de l'Andra ont largement contribué à enrichir les connaissances sur la géologie du Bassin parisien et sur les géosciences. Des acquis développés au travers de programmes de recherches pluridisciplinaires nationaux et internationaux, que l'Agence met à la disposition de la communauté scientifique. Elle fait également partie du réseau des laboratoires souterrains dédiés au stockage géologique (d'Aspö en Suède, de Mol en Belgique, du Mont-Terri en Suisse). « Parmi la quarantaine de partenariats scientifiques en cours, nous avons aussi des accords de collaboration avec plusieurs universités, et tout particulièrement l'université de Lorraine, un des grands pôles français et international en géoscience, précise Frédéric Plas, directeur de la R&D à l'Andra. Les connaissances acquises et les outils dont nous disposons peuvent également être mis à profit pour d'autres types de projet comme le stockage du CO₂ ou d'hydrogène » (lire l'interview ci-contre). •

¹ Méthode de prospection géophysique qui permet de visualiser les structures géologiques en profondeur grâce à l'analyse des échos d'ondes sismiques. À ne pas confondre avec la sismologie qui est l'étude des séismes eux-mêmes.

² La carothèque est située pour partie à Gondrecourt-le-Château et pour partie sur le site du Laboratoire souterrain.



Le Laboratoire souterrain ouvre ses portes aux spécialistes mondiaux du stockage... de CO₂!

INTERVIEW DE...

ISABELLE CZERNICHOWSKI-LAURIOL,
spécialiste du stockage géologique du CO₂ au BRGM²
et coordinatrice du groupe français d'ECCSEL¹.

Le 5 juin dernier, l'Andra accueillait dans son Laboratoire souterrain une vingtaine de participants à un atelier organisé par ECCSEL¹, l'infrastructure de recherche européenne sur le captage et le stockage du CO₂. L'occasion de leur présenter les expérimentations qui y sont menées dans le cadre de Cigéo et de les inviter à réfléchir à celles qui pourraient y être réalisées pour nourrir leurs propres recherches. Les explications d'Isabelle Czernichowski-Lauriol.

En quoi consistent le captage et le stockage du CO₂ ?

Isabelle Czernichowski-Lauriol : Le captage et le stockage de CO₂ dans le sous-sol sont considérés comme une des mesures clés pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Elle est évoquée par le GIEC³ et l'AIE⁴ dans tous les scénarios visant à ne pas dépasser 1,5°C de plus à l'échelle de la planète. Concrètement, cela consiste à remettre le carbone dans le sous-sol d'où il a été extrait sous forme de charbon, pétrole et gaz dont la combustion génère du CO₂. Cela nécessite de faire appel à tout un assemblage de technologies pour capter le CO₂ émis par les industries avant qu'il ne soit relâché dans l'atmosphère, puis de le stocker dans le sous-sol.

Qu'est-ce qu'ECCSEL ?

I. C.-L. : ECCSEL est une infrastructure de recherche européenne sur le captage et le stockage géologique du CO₂, qui met à disposition des chercheurs des plateformes de recherche des cinq pays fondateurs : la Norvège, la France, l'Italie, les Pays-Bas et le Royaume-Uni. Pilotée par le BRGM, l'entité française rassemble cinq autres organismes : la direction de la R&D de l'Andra, l'Ineris, l'IFP-EN⁵, EDF et Total.

Pourquoi l'Andra est-elle impliquée ?

I. C.-L. : Le CO₂ est stocké à plus de 800 m de profondeur dans les pores d'une roche « réservoir », perméable et poreuse, de type grès ou calcaire. Il faut qu'il y ait au-dessus de ce réservoir une roche argileuse imperméable qui empêche sa remontée vers la surface. À ce titre, le Laboratoire souterrain de l'Andra,

situé à 500 mètres sous terre dans une couche argileuse, s'avère particulièrement intéressant ! C'est ce qui nous a amenés à prendre contact avec l'Andra en 2015. L'Agence avait de son côté la volonté d'ouvrir son laboratoire de recherche à d'autres applications que le stockage des déchets radioactifs. *Via* ECCSEL France, elle met ses installations à la disposition de la communauté scientifique.

Quel était l'objectif de la visite du Laboratoire souterrain ?

I. C.-L. : Lancée lors de la COP 21, l'initiative mondiale Mission Innovation a récemment souligné le rôle important des laboratoires souterrains pour accélérer la recherche pour le déploiement des technologies de stockage du CO₂. Cela nous a conduits à organiser les 5 et 6 juin dernier un *workshop* international à Nancy sur ce thème en y intégrant une visite au Laboratoire souterrain de l'Andra. L'occasion de faire découvrir aux chercheurs du monde entier cette installation exceptionnelle et de les inviter à en tirer profit pour nourrir leurs propres recherches. •



Vérification d'une expérimentation scientifique dans une galerie du Laboratoire souterrain

- 1 European Carbon dioxide Capture and Storage Laboratory.
- 2 Bureau de recherches géologiques et minières.
- 3 Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
- 4 Agence internationale de l'énergie.
- 5 Institut français du pétrole et des énergies nouvelles.



« CE QUE L'ON PHOTOGRAPHE AUJOURD'HUI, C'EST LA MÉMOIRE DE DEMAIN »

Des friches locales, des machines, des bâtiments d'usine immortalisés grâce au talent de jeunes photographes en herbe : pari réussi pour la première édition du concours photo « Capture ton patrimoine industriel », dont la remise des prix a eu lieu le 25 mai à Troyes. Parrainée par l'Andra, en partenariat avec le Centre pour l'Unesco Louis-François, cette opération visait à sensibiliser les jeunes à la préservation et à la transmission du patrimoine industriel régional.



Afin de mobiliser les jeunes sur la problématique mémorielle et la sauvegarde du patrimoine, l'Agence et le Centre pour l'Unesco Louis-François de Troyes, partenaires de longue date, ont organisé le concours « Capture ton patrimoine industriel ». Les jeunes de 12 à 20 ans ont été invités à prendre une photo représentant à leurs yeux le patrimoine industriel du Grand-Est, accompagnée d'un texte expliquant leur choix. Quatre lauréats ont été primés, au sein des deux catégories 12-15 ans et 16-20 ans (voir ci-contre). Deux autres ont reçu le prix de l'originalité avec leurs œuvres aux titres évocateurs : « Un reflet du passé » d'Eliott Coste-Bonnet et « Troyes, mon Amour » de Juliette Velut. Une dernière lauréate a remporté le prix

coup de cœur de la Maison de l'outil et de la pensée ouvrière : Maëva Suzanne avec sa photo symbolique « La Mailleuse ».

Fixer la mémoire des personnes et des lieux

Les sujets retenus – une friche en déshérence, une ancienne malterie reconvertie en logements ou encore une machine à mailler du XIX^e siècle – témoignent de la diversité du passé industriel local et de la permanence de ces vestiges sur le territoire. Des images qui racontent et fixent sur la pellicule le souvenir des lieux et des personnes.

L'originalité des regards

À travers ce vecteur d'expression privilégié et leur regard personnel, les jeunes lauréats ont ainsi mis en valeur un patrimoine familial auquel ils sont sensiblement attachés et qui représente leurs racines. Un questionnement prolifique a pu émerger : quel devenir pour ce patrimoine et pour l'industrie dans le monde d'aujourd'hui, quelle place pour l'humain par rapport à la machine... Le jury, composé de photographes professionnels, de spécialistes du patrimoine et de représentants de l'Andra et du Centre pour l'Unesco, a été sensible à la qualité artistique et conceptuelle des photographies en compétition. Le président du jury, Dimitri Beck, directeur de la photographie de *Polka Magazine*, souligne l'intérêt du support photographique pour faire œuvre de mémoire : « Dans notre culture contemporaine qui est extrêmement visuelle, la photographie est devenue un outil puissant de transmission... Ce que l'on photographie aujourd'hui, c'est la mémoire de demain. C'est notre mémoire à tous, ce qui fait l'existence de nos régions. » •

DES PHOTOS ET DES MOTS



Elio Balini

1^{er} prix de la catégorie 12-15 ans :

« Free Friche Défraîchie »

« Friche défraîchie, Frêle, Affre du temps... Et bientôt, quels fruits ? Quelle nouvelle fraîcheur ? »



Léa Morognier

2^e prix de la catégorie 12-15 ans :

« Malterie Industrie d'Antan »

« La Malterie reflète encore l'industrie céréalière d'antan, même si aujourd'hui, elle est transformée en lieu d'habitation. C'est ce contraste qui m'a fait choisir ce bâtiment que je vois chaque jour depuis ma chambre. »



Valentin Petit

1^{er} prix de la catégorie 16-20 ans :

« Souvenir du passé »

« Il s'agit d'une photo d'usine prise en couleur et mise en noir et blanc, à laquelle j'ai ajouté du grain. J'ai voulu présenter une photo semblable à celles qu'on pouvait prendre à l'époque. »



Gwénaëlle Poirot-Rozec

2^e prix de la catégorie 16-20 ans :

« Machine pérenne, homme éphémère »

« J'ai choisi de montrer le patrimoine et de rendre aussi la question du temps : la machine à tricoter apparaît nette car elle dure dans le temps, tandis que les ouvriers sont flous car ils sont éphémères. »



ont été animés par un objectif : rendre Cigéo compréhensible de tous.
 « C'est important que tous ces grands projets publics, ces grands projets du siècle puissent être expliqués par les mots, mais surtout par l'image pour permettre au public de comprendre et ensuite d'établir ses critiques vis-à-vis de ce projet » explique Joseph Bourdaud, l'un des auteurs de cette bande dessinée nouvelle génération.

Liberté de ton totale

Neuf chapitres pour neuf points de vue... Si *480 mètres sous terre* a donc une vocation didactique, c'est aussi une mosaïque de regards. La radioactivité, les rouages du Laboratoire souterrain ou encore la mémoire d'un site de stockage... les sujets choisis reflètent les différentes sensibilités des étudiants. « J'ai senti une liberté dans notre réalisation du projet » souligne ainsi Héloïse Krob. Aussi bien sur le fond que sur la forme, les jeunes illustrateurs ont en effet eu carte blanche. Le résultat est un mélange détonnant d'humour, de savoir scientifique mais aussi de réflexions philosophiques sur le sujet des déchets radioactifs. C'est également un nouveau vecteur artistique (après le théâtre ou la vidéo entre autres) pour faire connaître cette question de société et transmettre la mémoire des choix réalisés. •

¹ L'École supérieure des arts et industries graphiques (ESAIG) située à Paris.



Pour découvrir ce reportage graphique, rendez-vous sur <https://bit.ly/2WKlgzm>

480 MÈTRES SOUS TERRE

UNE BD NUMÉRIQUE POUR PARLER DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Apporter un regard singulier sur le Laboratoire souterrain de l'Andra au moyen d'un support original : c'est le défi relevé par neuf élèves de la prestigieuse école d'art graphique Estienne¹. Le résultat : *480 mètres sous terre*, une expérience immersive pédagogique et ludique à découvrir !

Sensibiliser le grand public et plus particulièrement les jeunes au sujet des déchets radioactifs fait partie des ambitions de l'Andra. C'est dans cette optique que l'Agence est entrée en contact avec l'école Estienne. « Nous avons l'habitude de travailler avec des partenaires extérieurs, notamment des chercheurs ou des acteurs du monde scientifique au sens large. C'est dans ce cadre-là que nous avons été contactés par l'Andra », explique Matthieu Lambert, enseignant à l'école Estienne. Le projet : proposer aux futurs illustrateurs scientifiques, de concevoir une BD destinée à mieux comprendre les enjeux liés au stockage profond des déchets radioactifs. « L'intérêt de concevoir une BD documentaire dans un cadre didactique est de présenter un sujet sous une forme narrative, qui raconte l'information comme une histoire. Nos étudiants ont pu expérimenter ce registre, créer de courtes séquences dessinées, mettre en scène des personnages, des situations et des actions en n'hésitant

pas à être décalés ou à utiliser l'humour afin d'aborder de manière apparemment simple des notions ou des enjeux assez complexes. Ici, cet objectif a été accompagné d'un défi supplémentaire : penser la BD de façon numérique, interactive et animée pour proposer au public une expérience de lecture innovante », détaille Matthieu Lambert.

Une plongée dans le Laboratoire souterrain

Pour préparer ce travail, les élèves ont pu visiter le Laboratoire souterrain de l'Andra en Meuse/Haute-Marne. Au programme : découverte des engins de creusement, observation des expérimentations, mais surtout rencontre avec des scientifiques ! « Au-delà de la descente dans le Laboratoire à près de 500 m sous terre, il y a eu plusieurs rencontres avec des chercheurs qui ont permis aux étudiants d'avoir des éclairages très divers autour des différents travaux menés par l'Andra », se rappelle Matthieu Lambert. Très impliqués, tous les élèves

15 SEPTEMBRE 2019

DE 10H00 À 18H00

**Portes
ouvertes
de l'Andra**

**CENTRE DE STOCKAGE
DE L'AUBE
SOULAINES-DHUYS**

**CENTRE DE MEUSE/
HAUTE-MARNE
BURE / SAUDRON**