

AUTOMNE 2025 N° 52

le Journal del'Andra

— ÉDITION AUBE

**Stockage des
déchets radioactifs :**
les secrets de l'argile

P.8



Sommaire

en bref

P.4 Journée solidaire Andra :
640 heures de bénévolat



P.4 Dans les médias
Voyage au cœur des
déchets radioactifs

tableau de bord

P.5 Le programme
Mémoire de l'Andra

territoire

P.6 Le hip-hop : une danse
qui rapproche tous
les publics !

P.7 Acaci : les travaux
continuent



P.7 Une nouvelle tranche
d'ouvrages de stockage

dossier



P.8 Dossier

Stockage des déchets radioactifs : les secrets de l'argile

P.9 Argile, qui es-tu ?

P.11 Un matériau multifonction
pour le stockage

P.13 Plongée au cœur
de la roche argileuse

P.15 L'argile, une passion d'experts

P.16 Stockage en profondeur :
que font nos voisins ?

P.17 Une roche modèle pour
la recherche géologique

portrait

P.18 Lydie Evrard, directrice
générale de l'Andra

l'invitée

P.19 À la découverte
de l'Univers. Rencontre
avec Hélène Courtois

décryptage

P.20 Sous-marins nucléaires :
des producteurs de
déchets « ordinaires » !



P.22 5 questions pour
tout savoir sur
les déchets FA-VL

reportage

P.24 Former pour mieux
sécuriser : le rôle clé
de l'Andra auprès
des équipes de secours

P.25 L'Andra, sculptrice
de vocations ?

entre nous

P.26 On vous répond
Peut-on visiter les
installations de l'Andra ?

P.26 #Ils sont venus nous voir
P.27 Photomystère

le
Journal
de l'Andra

Édition Aube N° 52

Centres industriels de l'Andra dans l'Aube

BP7 - 10200 Soullaines-Dhuys - Tél. : 0 800 31 41 51 - journal-andra@andra.fr

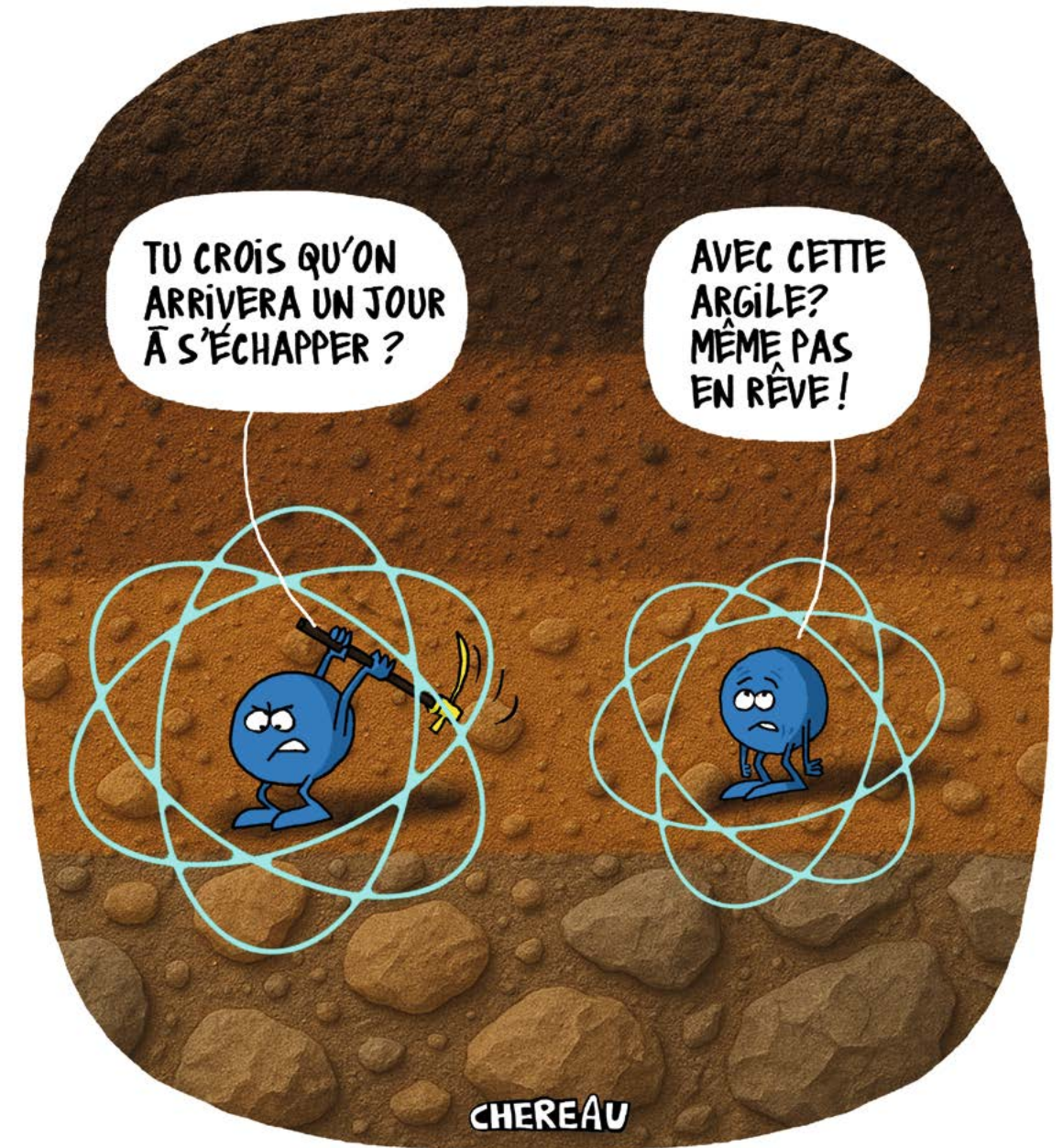
Directrice de la publication : Lydie Evrard • Directeur de la rédaction : Antoine Billat • Rédactrice en chef : Sophie Dubois • Ont participé à la rédaction : Alexia Attali, Manon Berruer, Sophie Dubois, Olivier Constant, Valérie Lachenaud, Séverine Vallat • Responsable iconographie : Sophie Muzerelle • Crédits photos : Andra, L. Becet, Th. Chassepoux, H. Courtois, A. Daste, Ph. Demail, C. Dépit, N. Dohr, S. Dubois, Handiprint, Kazar, J.-M. Huron, Marine nationale / Christophe Géal (Creative Commons), Obiyan, C. Rivard / UEC, Th. Pochot, F. Roux / EDF, R. Spekking / CC BY-SA 4.0 (via Wikimedia Commons), I. Treve • Dessins : Antoine Chereau • Infographies et illustrations : Antoine Levesque, Citizen Press • Conception et réalisation : Citizen Press, Paris : www.citizen-press.fr • Impression : BLG Toul - Siret 43761704600044 - Imprimé sur du papier issu de forêts durablement gérées dans une imprimerie certifiée Imprim'vert • © Andra • DDP/DICOM/25-0040 Édition Aube • ISSN 2106-8305 (imprimé), ISSN 3037-0248 (en ligne) • Tirage : 47 780 ex.



ABONNEMENT GRATUIT

Pour être sûr de ne rien manquer
sur l'actualité de l'Andra, **abonnez-vous**
par e-mail à journal-andra@andra.fr,
en précisant la ou les édition(s) souhaitée(s).

LE POINT DE VUE DE CHEREAU Évasion impossible.



Naturellement imperméable et stable, l'argile constitue une barrière géologique efficace pour confiner les substances radioactives et ralentir leur migration. Ses propriétés sont étudiées de près par l'Andra afin de contribuer à la sûreté des stockages sur le très long terme. Le dossier de ce numéro revient sur le rôle clé de cette roche, notamment pour le projet Cigéo. Rendez-vous en page 8.

859

personnes ont visité les installations du Centre de stockage de l'Aube à l'occasion de la journée portes ouvertes organisée dimanche 14 septembre 2025. Une très belle affluence qui démontre encore une fois l'intérêt de la population pour les activités de l'Andra. À noter qu'une grande majorité des visiteurs venait pour la première fois sur un site de l'Agence.

Une solidité financière et des défis à venir pour l'Andra

L'été dernier, la Cour des comptes a rendu public son rapport sur les comptes et la gestion de l'Andra pour les exercices 2018 à 2024. Elle évoque une situation financière « saine et robuste » de l'Agence, dont le modèle économique est fondé sur la responsabilité des producteurs de déchets radioactifs, un principe inscrit dans le code de l'environnement. Plusieurs recommandations sont également émises. Elles portent principalement sur des compléments qui permettraient de renforcer la lisibilité de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs, la maîtrise de la phase de construction du projet Cigéo, s'il est autorisé, et la poursuite des études et l'élaboration de projets pour gérer les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL). L'Andra partage l'analyse de la Cour des comptes sur la nécessité d'avancer efficacement pour la gestion des déchets FA-VL. Elle a d'ailleurs remis l'année dernière deux dossiers qui marquent une avancée significative pour la gestion de ces déchets : un dossier d'options techniques et de sûreté pour le stockage à faible profondeur d'une partie des déchets FA-VL ; un dossier détaillant les différentes options de gestion possibles pour l'ensemble des déchets FA-VL.

Journée solidaire Andra : 640 heures de bénévolat

Début juillet, 110 collaborateurs volontaires de l'Andra ont participé à la 2^e édition de la journée de solidarité, organisée par l'Agence sur les différents territoires qui accueillent ses centres. Dix associations œuvrant dans les domaines de l'environnement, de la solidarité, de l'inclusion ou encore de la protection de l'enfance ont pu bénéficier, le temps d'une journée, de l'aide de ces salariés.



Entretien des volières du CPIE Sud Champagne.

Dans l'Aube, deux structures ont accueilli les bénévoles. L'APEI⁽¹⁾ a proposé une immersion dans ses ateliers de conditionnement, d'imprimerie, de menuiserie et dans ses serres, ainsi qu'une pause artistique à l'Esat⁽²⁾ musical Arc-en-ciel. Quant au CPIE⁽³⁾ Sud Champagne, il a permis aux volontaires de participer au nourrissage des animaux, à l'entretien des volières et au nettoyage des enclos. Au total, les dix associations ont bénéficié de 640 heures de travail bénévole de la part des collaborateurs, soit l'équivalent de plus de trois mois de travail à temps plein. Grâce à cet engagement des salariés, environ 500 bénéficiaires des associations ont été directement aidés. ●

(1) Association de parents d'enfants inadaptés et de personnes handicapées.
(2) Établissement et service d'accompagnement par le travail.
(3) Centre permanent d'initiatives pour l'environnement.

danslesmédias

Voyage au cœur des déchets radioactifs



Sur sa chaîne YouTube, suivie par plus de 190 000 abonnés, le vidéaste Obiann se penche sur des sujets complexes qu'il rend accessibles avec humour. Dans l'une de ses dernières vidéos, il décrypte l'origine des déchets radioactifs, leur dangerosité, ainsi que leur classification et les solutions de gestion associées. Une introduction claire et pédagogique pour découvrir le sujet. Envie d'en savoir plus ? Patience : dans une prochaine vidéo, Obiann poussera les portes du Laboratoire souterrain de l'Andra pour découvrir les coulisses de Cigéo, le projet de stockage profond de déchets radioactifs.

Découvrir la vidéo : <https://urls.fr/KvNHqe>



Le programme Mémoire de l'Andra

Parce que c'est un enjeu de sûreté et de responsabilité de notre génération envers celles qui lui succéderont, l'Andra travaille à conserver et à transmettre la mémoire des centres de stockage de déchets radioactifs le plus longtemps possible. Les actions qu'elle mène sont coordonnées dans un programme Mémoire, pluridisciplinaire, transverse et prospectif.

4 PILIERS POUR PRÉSERVER ET TRANSMETTRE LA MÉMOIRE DES CENTRES DE STOCKAGE

PILIER 1 DOCUMENTATION RÉGLEMENTAIRE ET ARCHIVES

Les centres de stockage doivent produire deux dossiers réglementaires afin de conserver la mémoire : le dossier synthétique de mémoire et le dossier détaillé de mémoire. Le premier est destiné au grand public tandis que le second s'adresse en priorité aux exploitants successifs des installations. Ces deux documents sont régulièrement mis à jour. Par ailleurs, plus de 6 000 mètres linéaires d'archives ont déjà été constitués.

PILIER 2 INTERACTIONS SOCIALES

La robustesse du dispositif mémoriel repose sur le maintien de la conscience de l'existence des stockages au sein de la société. Depuis 2011, chaque centre de l'Andra anime ainsi un groupe de réflexion local dédié à la mémoire. Composé de riverains, d'élus locaux ou d'acteurs associatifs, il expérimente de nouvelles approches pour créer du lien avec le public. L'Andra reçoit également plus de 10 000 visiteurs par an : chaque visiteur repart avec une partie de la mémoire !

PILIER 3 ÉTUDES ET RECHERCHES

Quels supports et matériaux permettraient de conserver et de transmettre la mémoire le plus longtemps possible ? Quels symboles ou langages seront le mieux compris par les générations futures ? Comment et pourquoi certaines informations ont pu traverser les siècles ? Pour y répondre, l'Andra s'entoure de chercheurs de différentes disciplines, dont des sémiologues, des archéologues, etc.

PILIER 4 COLLABORATION INTERNATIONALE

Travailler avec d'autres pays renforce la dynamique collective de la transmission mémorielle et permet de profiter du regard d'autres cultures. L'Andra participe notamment au groupe de travail IDKM⁽¹⁾, une plateforme internationale de recherche sur la mémoire des déchets radioactifs créée par l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE.

(1) Information, Data et Knowledge Management.

En savoir plus sur le programme Mémoire : <https://urls.fr/Cu3tUd>



Le hip-hop : une danse qui rapproche tous les publics !

Le 11 juillet, près d'une centaine de spectateurs ont assisté à la soirée « Convergences urbaines : corps, sons et forêts » organisée par l'Andra. L'association nancéienne Street Harmony y a dansé l'histoire du hip-hop. Hamza Boumaza, son président, explique pourquoi.

Le hip-hop et l'Andra semblent appartenir à deux univers très différents. Qu'est-ce qui vous a donné envie de les faire se rencontrer ? Des personnes de l'Andra ont découvert notre travail et, en échangeant, nous nous sommes rendu compte que nous partageons des valeurs communes, notamment celle de la transmission de la mémoire.

À travers l'histoire et les techniques du hip-hop, vous cherchez à rapprocher les publics : ça marche vraiment ? Venez à nos stages, conférences ou cours, et vous verrez... Le hip-hop est né il y a cinquante ans. Ses premiers

fans ont l'âge d'être grands-parents, et pourtant il passionne toujours les plus jeunes. C'est aujourd'hui la musique la plus écoutée. Elle réunit donc tous les ingrédients pour rapprocher les gens... si on met de côté les vieux clichés : 80 % de nos élèves sont des filles, et les « battles » sont avant tout des espaces d'échanges et de respect.

Vous avez présenté les grandes époques du hip-hop lors de votre intervention à l'Andra. Pouvez-vous nous en dire plus ? Le hip-hop a pris de nombreuses formes et s'exprime au travers de diverses disciplines : Graffiti, Beatboxing, Djing, Mcing et, bien sûr, la danse. Nous illustrons nos propos par des démonstrations, c'est pourquoi nous parlons de « conférences dansées ». Cela aide à comprendre la différence entre les différents styles, les différentes sonorités. Mais le mieux, c'est encore de pratiquer. Notre association accueille tous les motivés. La devise du hip-hop parle de paix, d'amour, d'unité et de joie. Pas de performance ! ●

« CONVERGENCES URBAINES : CORPS, SONS ET FORÊTS »
Faire se rencontrer les sons de la forêt et ceux de la ville ? C'est ce qu'a imaginé l'Andra avec la soirée « Convergences urbaines : corps, sons et forêts ». En première partie, Maximilien, guide Nature, et l'association Vietavoix ont exploré les paysages sonores forestiers à travers chants, jeux rythmiques et écoute immersive. En deuxième partie, Street Harmony a dansé l'histoire du hip-hop avant de faire entrer le public dans le mouvement. La transmission, mission de l'Andra, s'est incarnée ce soir-là dans une culture vivante.

Lire l'interview complète sur : <https://urls.fr/22RbHu>



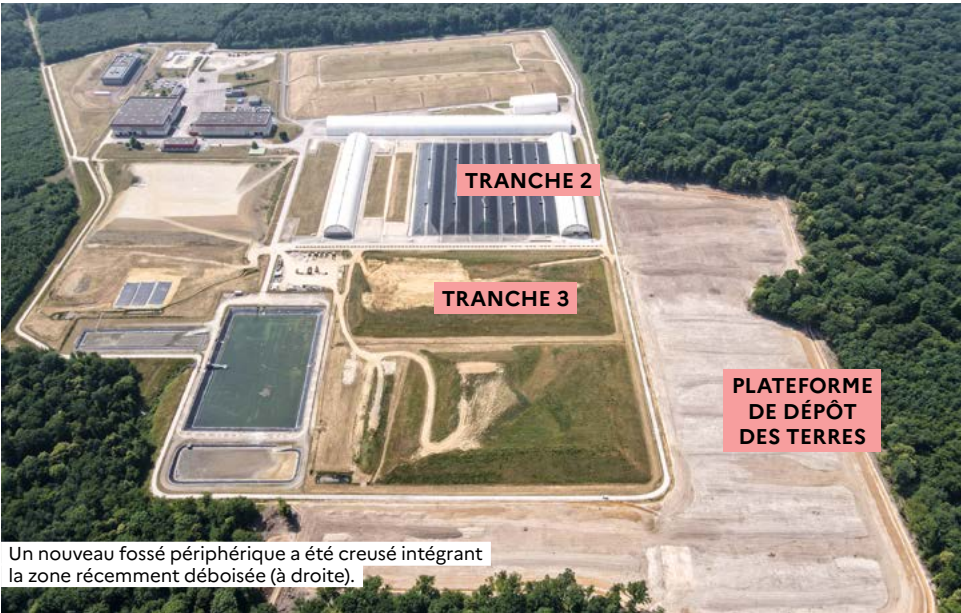
Acaci : les travaux continuent

Depuis mai, plusieurs étapes importantes ont été franchies dans le cadre du chantier Acaci visant à augmenter la capacité autorisée de stockage du Cires⁽¹⁾.

Les différentes optimisations du stockage mises en œuvre au Cires depuis plusieurs années ont permis d'économiser une grande partie de la surface de stockage initialement prévue pour les déchets de très faible activité. En 2024, l'Andra a obtenu l'autorisation de la préfecture de l'Aube d'augmenter la capacité de stockage du site, sans augmenter la surface de la zone de stockage. Des

travaux ont alors commencé pour préparer la zone de stockage appelée « tranche 3 » (voir image), laissée libre par les optimisations. Les terres qui seront retirées au moment du creusement des alvéoles de cette tranche seront entreposées sur une plateforme récemment défrichée (voir image). Cette dernière a également été décapée. Les terres végétales ont été soigneusement mises de

En savoir plus : <https://urls.fr/scTx-C>



côté et serviront pour la future couverture qui viendra protéger ultérieurement les alvéoles de stockage de déchets de la tranche 3. Un nouveau fossé périphérique a aussi été creusé pour collecter et surveiller les eaux pluviales provenant de la plateforme de dépôt des terres. À l'entrée du Cires, des aménagements paysagers seront prochainement réalisés, avec notamment la plantation d'arbres. Cette action s'inscrit dans les mesures d'accompagnement prévues par le projet Acaci pour renforcer l'intégration paysagère du centre dans son environnement. Le prochain chantier majeur consistera à retirer les terres entreposées sur la tranche 3. Ces travaux démarreront lorsque la tranche 2 de la zone de stockage (voir image) sera prête à être protégée par une couverture définitive, constituée notamment de ces terres. ●

(1) Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage. Le projet Acaci consiste à augmenter la capacité de stockage autorisée du Cires sans augmenter la surface totale de la zone de stockage et tout en conservant son niveau de sûreté.

Une nouvelle tranche d'ouvrages de stockage

Au Centre de stockage de l'Aube, la construction de nouveaux ouvrages de stockage a commencé au dernier trimestre 2025. C'est la 11^e campagne de travaux depuis la création du centre.

Depuis son ouverture en 1992, le Centre de stockage de l'Andra dans l'Aube construit régulièrement de nouveaux ouvrages pour anticiper la prise en charge de futurs colis de déchets radioactifs de faible et moyenne activité

principalement à vie courte (FMA-VC), et ainsi assurer la continuité des activités de stockage. Les travaux de cette 11^e campagne ont commencé au dernier trimestre 2025. Ils sont réalisés par l'entreprise Léon

Grosse, sélectionnée à la suite d'un appel d'offres. Disposés en lignes, ces ouvrages sont construits en béton armé. Ils mesurent chacun environ 25 mètres de côté et 8 mètres de hauteur. Le chantier doit s'achever fin juin 2026. ●





Stockage des déchets radioactifs : les secrets de l'argile

Matériau naturel aux multiples vertus, l'argile intéresse et passionne les scientifiques dans le monde entier. Ses propriétés intéressent notamment les organismes en charge de la gestion des déchets radioactifs, aussi bien pour leur stockage en surface qu'en profondeur. Que sait-on aujourd'hui de l'argile ? Comment peut-elle nous protéger des dangers que présentent les déchets radioactifs ? Un bilan complet dans ce dossier.



Carotte d'argile du Callovo-Oxfordien examinée au microscope.

Argile, qui es-tu ?

Utilisée depuis des millénaires à des fins domestiques, artistiques ou informatives, l'argile recèle des propriétés particulièrement intéressantes pour le stockage des déchets radioactifs.

L'argile est une roche « pratique » : très vite, les femmes et les hommes préhistoriques ont compris qu'ils pouvaient facilement la modeler et lui ont trouvé des usages grâce notamment à son imperméabilité. Les géologues parlent d'ailleurs « des argiles », car différents types de roches argileuses existent en milieu naturel. Elles sont classées selon leur teneur en minéraux argileux et en autres minéraux (quartz, carbonates, feldspaths, sulfures...), et suivant leur texture. Ces argiles se sont formées il y a des millions d'années, lorsque d'immenses océans recouvraient la Terre. Les roches, lentement usées par l'eau, se transformaient en de minuscules grains et particules. En même temps, les coquillages, algues et animaux marins laissaient derrière eux des débris organiques. Tous ces éléments se sont déposés ensemble au fond des mers et des lacs, couche après couche : la sédimentation a ainsi donné naissance aux argiles.

Une roche idéale pour le stockage

« À l'Andra, plusieurs types de roches argileuses nous intéressent », expliquent Nicolas Michau, ingénieur matériaux argileux, et Benoît Madé, ingénieur géochimiste. Il s'agit des argilites du Callovo-Oxfordien, une roche argileuse dure étudiée dans le cadre du projet Cigéo, des argiles à Plicatules de l'Aptien-Barrémien pour les

centres de stockage en surface de l'Aube, et enfin des argiles dites « téglines » étudiées pour le futur stockage à faible profondeur d'une partie des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL). » Toutes les couches argileuses étudiées par l'Andra répondent à plusieurs critères indispensables : épaisseur de la formation, homogénéité minéralogique, absence de failles, lente circulation de l'eau (faible

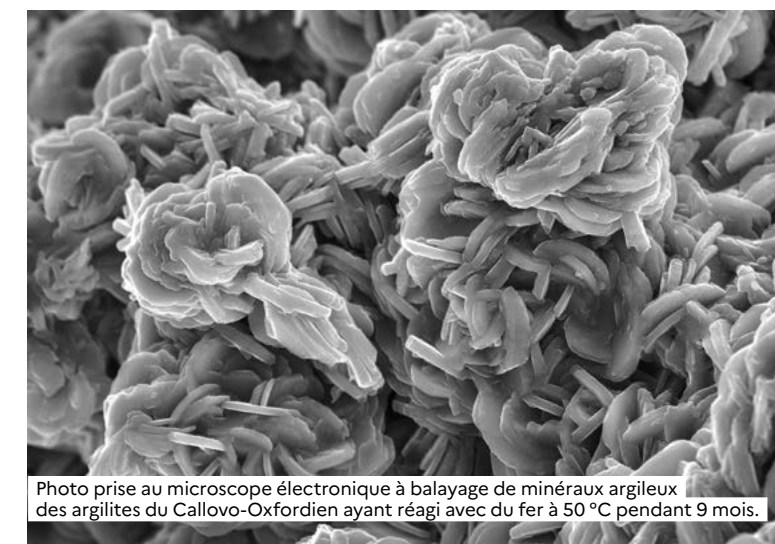
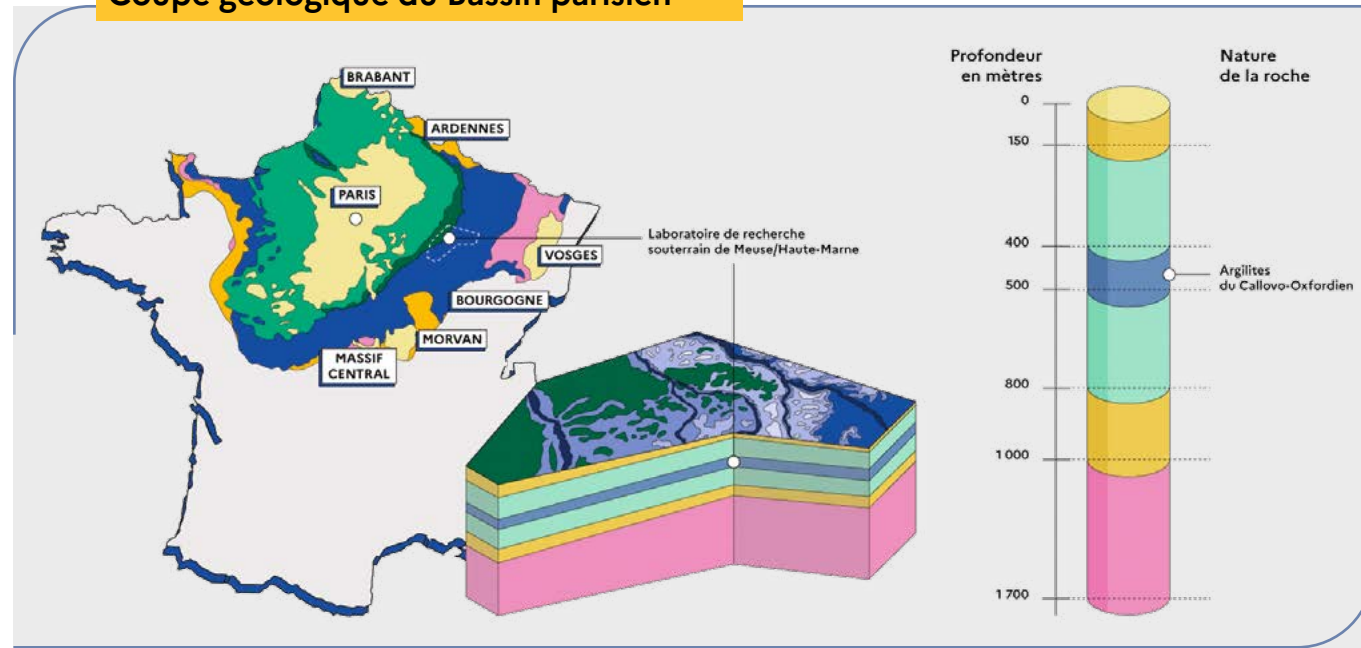


Photo prise au microscope électronique à balayage de minéraux argileux des argilites du Callovo-Oxfordien ayant réagi avec du fer à 50 °C pendant 9 mois.

Coupe géologique du Bassin parisien



perméabilité), qualités mécaniques et planitude adaptée au creusement d'ouvrages.

Une barrière naturelle contre la circulation de l'eau et la pollution

L'argile a deux avantages qui la rendent très utile pour empêcher l'eau de circuler et les substances de se disperser dans la nature. On s'y intéresse donc pour stocker les déchets radioactifs : elle est peu perméable et confine bien les produits chimiques. L'eau joue un rôle clé dans ce processus, car elle peut corroder les colis métalliques, altérer les matériaux du stockage et transporter les substances radioactives à travers le milieu géologique, favorisant leur dispersion dans l'environnement.

Du fait de ses caractéristiques, l'argile agit ainsi comme une barrière naturelle à la dispersion des éléments chimiques ou radioactifs. Les minéraux argileux sont formés de fines couches superposées et très serrées, comme un mille-feuille, leur conférant leur propriété d'imperméabilité. La roche a la capacité de retenir durablement les substances

radioactives chargées positivement, tandis que celles chargées négativement migrent lentement. Elle a donc un avantage significatif par rapport à des sols plus perméables.

L'argilite au cœur de la sûreté du projet Cigéo

La roche argileuse du Callovo-Oxfordien a particulièrement été étudiée par l'Andra dans le cadre des recherches menées dans le Laboratoire souterrain. « Cette argilite est une roche argileuse indurée, c'est-à-dire cimentée par des cristaux de quartz et/ou des carbonates, dont la teneur en minéraux argileux est d'environ 40 % à 45 %. Elle forme une roche grise, homogène et sèche au toucher », expliquent Nicolas Michau et Benoît Madé.

Rappelons brièvement l'histoire du Callovo-Oxfordien : cette couche sédimentaire argileuse du Bassin parisien s'est déposée il y a environ 160 millions d'années dans une mer peu profonde qui recouvrait alors l'emplacement actuel du nord de la Haute-Marne et du sud de la Meuse. Sur la zone d'étude de Cigéo, elle mesure en moyenne 145 mètres

d'épaisseur et se trouve entre 400 et 600 mètres sous terre. Une profondeur suffisante pour ne pas être affectée par des phénomènes géologiques de surface (érosion, glaciation...).

L'ARGILE COMME MATÉRIAU DE TRANSMISSION

Au IV^e millénaire av. J.-C., en Mésopotamie, des artefacts d'argile (petits cailloux, bâtonnets, billes, cônes, imitations de coquillages) étaient employés pour dénombrer des marchandises. Ils étaient insérés dans des bulles-enveloppes, sortes de sphères d'argile creuses sur lesquelles on rappelait le décompte sous forme de pictogrammes obtenus par pression d'un calame (roseau taillé en pointe). Les tablettes plates ont fini par remplacer les bulles d'argile. Les plus anciennes conservées datent de 3500 à 3200 av. J.-C. : tables arithmétiques, registres, lois, textes religieux ou littéraires.

Un matériau multifonction pour le stockage

Quelles que soient sa profondeur ou sa composition, l'argile joue un rôle essentiel dans les solutions de stockage mises en œuvre ou étudiées par l'Andra.



La roche argileuse du Callovo-Oxfordien pour le stockage géologique

Les recherches menées depuis 1991 sur le stockage géologique des déchets les plus radioactifs ont conduit à sélectionner une roche argileuse du bassin sédimentaire parisien, vieille de plus de 160 millions d'années. Les études menées par l'Andra au sein de son Laboratoire souterrain depuis les années 2000 ont confirmé que cette couche argileuse dispose de toutes les propriétés nécessaires : homogénéité, stabilité, profondeur, épaisseur. Cela lui confère une très faible perméabilité qui favorise la migration lente des éléments chimiques.

Si l'argile du Callovo-Oxfordien doit servir de « terre d'accueil » au centre de stockage Cigéo et former une barrière naturelle de protection, elle sera également utilisée pour remblayer les galeries creusées au moment de la fermeture.

L'argile de l'Aptien pour le stockage de surface

Au Centre de stockage de l'Aube (CSA), les ouvrages de stockage qui réceptionnent les colis de déchets de faible et moyenne activité

principalement à vie courte (FMA-VC) sont construits sur une couche de sable au-dessus d'une couche argileuse de l'Aptien, qui constitue la barrière géologique recherchée. À l'issue de la phase d'exploitation, l'argile sera également utilisée pour la couverture, disposée au-dessus des ouvrages de stockage pour les protéger des agressions extérieures, notamment les infiltrations d'eau. « Cette couverture sera composée de plusieurs couches de matériaux naturels, dont l'argile, explique Albert Marchiol, géologue, chef de projet Couverture au CSA. La couche d'argile, de par sa faible perméabilité, permettra de limiter la quantité d'eau de pluie susceptible d'entrer en contact avec les ouvrages de stockage. » Une structure expérimentale de couverture est à l'étude pour tester en conditions réelles le concept envisagé. « Nous étudions les effets de fortes pluies, mais aussi d'étés plus secs qui peuvent avoir des conséquences sur l'argile, poursuit Albert Marchiol. Les



UN SAVOIR-FAIRE RARE

« L'argile excavée est mise en dépôt sur le site du CSA en vue de la réalisation future de la couverture. Il existe un véritable savoir-faire pour ce stockage, qui est d'ores et déjà appliqué sur le site du Cires. »

Albert Marchiol,
géologue, chef de projet
Couverture au CSA

résultats de nos tests montrent que la couche de protection en surface protège suffisamment l'argile pour que nous respections nos engagements de sûreté. Notre concept est également conforté par le savoir-faire acquis sur le Cires. »

Le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) prend en charge les déchets de très faible





Creusement d'une alvéole au Cires.

activité (TFA). Ceux-ci sont disposés dans des alvéoles de stockage creusées à quelques mètres de profondeur au sein de cette même couche d'argile de l'Aptien. L'alvéole est définitivement fermée par une couverture provisoire composée d'une couche de sable, d'une géomembrane garantissant l'imperméabilité du stockage et d'un géotextile de protection temporaire résistant aux rayonnements UV.

Une seconde couverture composée de plusieurs couches, dont de l'argile, est ensuite placée sur les alvéoles de stockage pour en assurer la protection contre les intempéries ou les intrusions. « Cette couverture est déjà effective sur une partie du site, explique Benoît Monguillon, responsable Terrassement au Cires. Nous

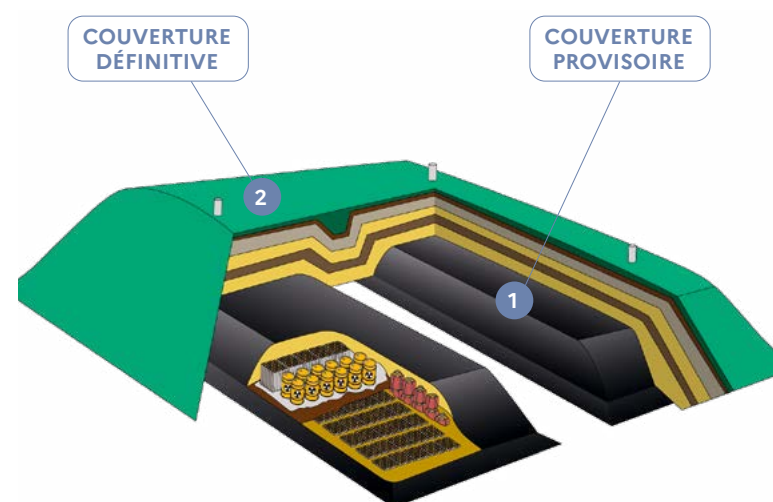
avons utilisé l'argile excavée au moment du creusement des alvéoles, et nous l'avons retravaillée pour lui rendre la plasticité nécessaire à sa mise en place. Grâce à des techniques éprouvées, nous pouvons l'hydrater rapidement afin de lui redonner la bonne teneur en eau, favoriser le bon compactage et assurer l'imperméabilité. »

Les argiles téglines : une solution pour les déchets FA-VL ?

Les déchets de faible activité à vie longue appartiennent à une catégorie hétérogène de déchets, qui regroupe des

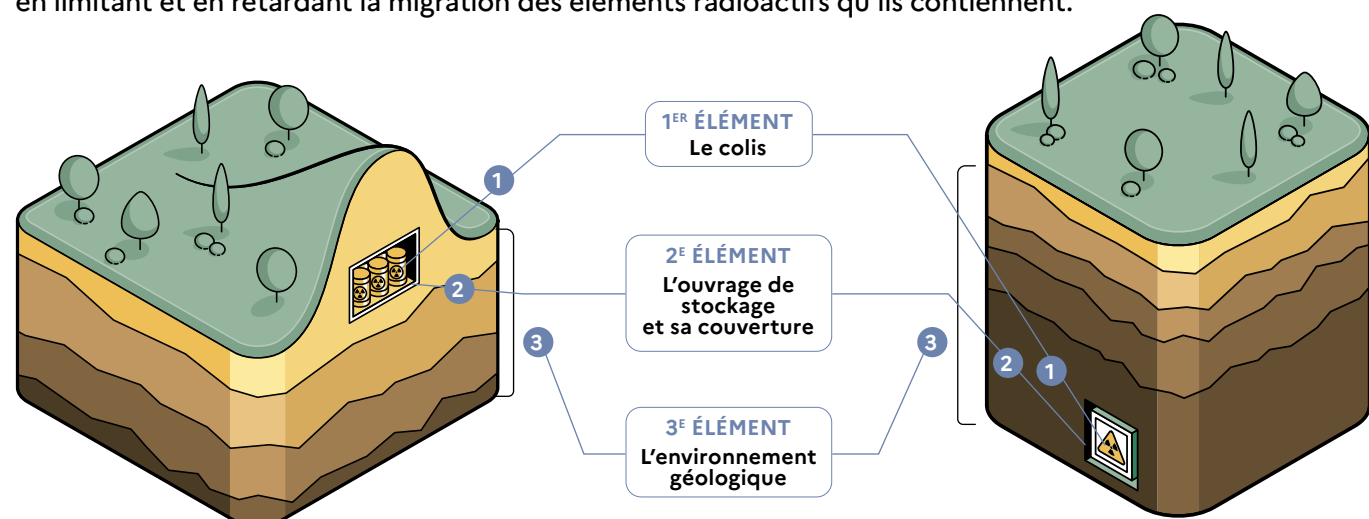
déchets de nature et d'origine très différentes. Si les modes de gestion à long terme de ces déchets sont encore à l'étude, le principe d'un stockage en formation argileuse à faible profondeur (une trentaine de mètres) est l'une des options de référence pour une partie de ces déchets. C'est dans ce cadre que l'Andra a mené plusieurs campagnes d'investigations géologiques entre 2013 et 2015, puis entre 2017 et 2018, pour mieux connaître les argiles téglines présentes sur le territoire de la communauté de communes de Vendeuvre-Soulaines dans l'Aube.

SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA COUVERTURE DU CIRES



LE PRINCIPE DU STOCKAGE

Le stockage permet d'isoler les déchets des personnes et de l'environnement, en limitant et en retardant la migration des éléments radioactifs qu'ils contiennent.



Robot-chien dans les argilites du Callovo-Oxfordien.

Plongée au cœur de la roche argileuse

Le Laboratoire souterrain de l'Andra est un site privilégié pour étudier au plus près la couche argileuse du Callovo-Oxfordien. Depuis sa création, de nombreuses expérimentations ont été menées, contribuant à enrichir les connaissances.

On ne peut évoquer l'argile sans parler du Laboratoire souterrain de l'Andra. L'étude de cette roche sous tous ses aspects est sa raison d'être, comme le rappelle Émilie Huret, cheffe du Centre de Meuse/Haute-Marne : « Il a été créé pour étudier in situ ce milieu géologique et confirmer la faisabilité du principe de stockage profond pour les déchets radioactifs les plus dangereux. Durant les premières années, nous avons mené des expérimentations scientifiques afin d'éprouver la capacité de confinement de la roche argileuse et de compléter les données déjà acquises à partir d'échantillons sur ses caractéristiques mécaniques, thermiques, géochimiques et hydrauliques. »

Première étape : caractériser la roche

Dans un premier temps, les scientifiques ont caractérisé la roche argileuse et ses propriétés. « Les études ont porté notamment sur la composition de l'eau présente naturellement dans la roche, la perméabilité de la roche et le processus de diffusion et de rétention des éléments radioactifs », explique Jean-Charles Robinet, chef de département à la direction scientifique et technique.

À travers le creusement des puits du Laboratoire, des galeries souterraines ou des démonstrateurs d'alvéoles de stockage, l'Andra a vérifié que les couches géologiques traversées n'avaient pas été altérées par des phénomènes naturels tels que des séismes ou des épisodes de glaciations. Par ailleurs, le creusement des ouvrages engendre des perturbations qu'il faut limiter au maximum afin de préserver les propriétés favorables de la roche. Des capteurs ont été placés dans des forages pour cartographier l'endommagement de la roche. En complément, des tests ont démontré l'efficacité de

« bouchons » à base d'argile gonflante (bentonite) pour interrompre les éventuelles circulations d'eau dans les zones de roche endommagée à proximité immédiate des creusements. « Nous avons également étudié le comportement hydromécanique de la roche suite à un échauffement, car les déchets radioactifs de haute activité dégagent de la chaleur, explique Émilie Huret. Des sondes chauffantes ainsi que des capteurs à leur pourtour ont donc été placés dans les parois des galeries souterraines du Laboratoire souterrain. Aucun endommagement de la roche lié à la température n'a été observé. »



Creusement d'une galerie du Laboratoire de recherche souterrain dans l'argile du Callovo-Oxfordien.

Deuxième étape : faire interagir roche argileuse et matériaux

En 2006, l'Andra est entrée dans une nouvelle phase, le Parlement ayant entériné le choix du stockage profond et missionné l'Agence pour concevoir un centre de stockage dans la couche d'argile étudiée au Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne. « Si les expérimentations menées sur la caractérisation de la roche argileuse continuent, il s'agit désormais de consolider les connaissances sur des temps d'observation longs, et d'approfondir l'analyse des interactions entre la roche et les matériaux du stockage : du verre et de l'acier pour les colis de déchets de haute activité, du béton pour les colis de déchets de moyenne activité et à vie longue ainsi que pour le revêtement/soutènement des galeries », explique Jean-Charles Robinet.

Des expérimentations et des essais ont ainsi été menés pour évaluer le processus de corrosion des aciers et la durabilité des bétons au contact de l'argile du Callovo-Oxfordien et, inversement, les effets des bétons et de l'acier sur la roche argileuse. Par ailleurs, les scientifiques ont conduit une expérimentation pour estimer la performance hydraulique des scellements à base d'argile gonflante (comme la bentonite) dans le cadre de la fermeture du stockage. « Nous avons démontré que la couche argileuse du Callovo-Oxfordien dispose de toutes les propriétés nécessaires pour accueillir le stockage des déchets radioactifs HA et MA-VL, conclut Émilie Huret. La formation est ultramonitorée, ce qui va nous permettre de suivre l'évolution de son comportement dans le temps et d'améliorer encore nos connaissances en vue de la construction de Cigéo. »

UNE FORMATION STABLE

Dès les années 1990, l'Andra a mené sur le site de Meuse/Haute-Marne des campagnes de géophysique, des forages, des mesures sismiques et des travaux de cartographie pour préciser la disposition des couches géologiques. Ces travaux ont confirmé que le milieu géologique était stable et que la probabilité qu'un séisme se produise sur le secteur était très faible. Les déformations tectoniques qui ont affecté la région depuis 150 millions d'années sont minimales et se limitent aux fossés en bordures du secteur d'étude.



Près de 500 chercheurs de 30 pays réunis à Nancy lors de la 8^e Clay conférence, autour de l'étude des matériaux argileux appliquée au stockage géologique.

L'argile, une passion d'experts

Roche familière et pourtant mystérieuse, l'argile intrigue les experts qui n'ont pas fini d'en explorer toutes les facettes. Mais qui sont ces spécialistes ?

« L'Andra compte une vingtaine de spécialistes chargés d'étudier l'argile sous ses différents aspects : mécanique, chimique, géologique, etc., expliquent Nicolas Michau, ingénieur matériaux argileux, et Benoît Madé, ingénieur géochimiste. Bien sûr, nous ne travaillons pas seuls : nous collaborons étroitement avec de nombreux experts, en France et à l'international. » Parmi ces partenaires figurent le BRGM⁽¹⁾, le CNRS⁽²⁾, le CEA⁽³⁾, l'université de Poitiers, l'École des ponts ou encore l'École des mines. « Nous échangeons également avec nos homologues internationaux en charge de la gestion des déchets radioactifs, ajoutent les deux ingénieurs. Enfin, l'Andra fait partie de l'association le Groupe français des argiles (GFA), branche française de l'Association internationale pour l'étude des argiles (AIPEA). C'est important pour valoriser nos recherches, échanger sur des problématiques ou encore découvrir de nouvelles avancées. »

Une conférence sur l'argile à l'initiative de l'Andra

Autre rendez-vous majeur des experts de l'argile : la conférence « Clays in natural and engineered barriers for radioactive waste confinement ». Initiée en 2002 par l'Andra, cette conférence scientifique réunit tous les deux ans et demi 400 à 500 experts de plus de 30 pays : organismes de gestion des déchets, chercheurs et spécialistes du domaine. La dernière édition s'est tenue en 2024 à Hanovre en Allemagne, et la prochaine aura lieu en 2027. Elle sera organisée conjointement par l'Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies (Ondraf) et la Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (Covra), en charge de la gestion des déchets radioactifs respectivement en Belgique et aux Pays-Bas.

(1) Bureau de recherches géologiques et minières.
(2) Centre national de la recherche scientifique.
(3) Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.

Éric Ferrage,

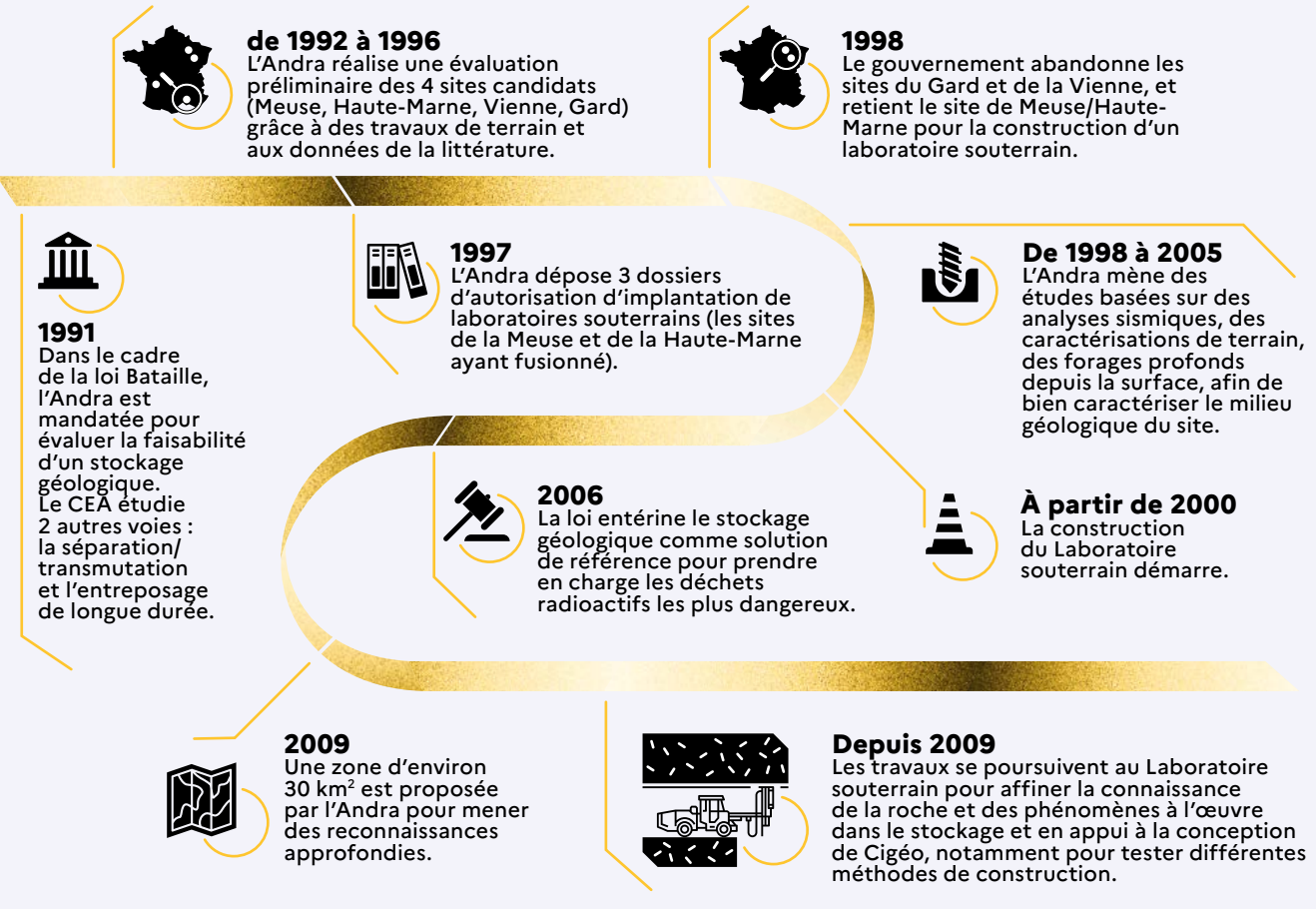
directeur de recherche au CNRS affecté à l'Institut de chimie des milieux et matériaux de Poitiers (IC2MP), lauréat 2024 de la Société américaine des argiles

Le fil rouge d'une carrière...

« Je travaille sur la réactivité des argiles au contact avec l'eau et les polluants. J'ai fait ma thèse à l'Andra il y a vingt-cinq ans sur le sujet et j'ai continué depuis. L'argile m'intéresse car elle est complexe et présente dans tous les environnements. Avec l'Andra, je travaille sur la réactivité des argiles du Callovo-Oxfordien pour le stockage de Cigéo, et sur les mécanismes de diffusion de l'eau et des radionucléides. Je développe des jumeaux numériques pour simuler le milieu naturel, en faisant varier par exemple la porosité de la roche ou bien l'organisation des argiles dans le milieu. J'apprécie la démarche de l'Andra, qui finance des projets de recherche allant du plus fondamental au plus appliqué. Cela permet d'enrichir les connaissances sur l'argile de manière absolue et pas seulement en vue du stockage de déchets radioactifs ! »



Les différentes étapes d'acquisition de connaissances pour le stockage profond



Stockage en profondeur : que font nos voisins ?

Les formations géologiques retenues pour le stockage en profondeur des déchets les plus radioactifs peuvent être diverses. Chaque pays s'adapte en effet aux caractéristiques de la roche, du site et des déchets concernés. Tour d'horizon européen.

L'argile en Suisse et en Belgique

En novembre 2024, la Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs (Nagra) a déposé une demande d'autorisation générale pour la réalisation d'un stockage profond au sein d'une couche d'argile, dans la région des Lägern, au nord de la Suisse. Prévue à environ 800 mètres de profondeur, l'installation accueillera l'ensemble des déchets radioactifs du pays. De son côté, la Belgique a entériné en 2022 le principe d'un stockage en profondeur des déchets radioactifs de haute activité et/ou à vie longue. Depuis plus de quarante ans, l'Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies (Ondraf) et le Centre d'études nucléaires belge (SCK-CEN) conduisent dans le laboratoire souterrain Hades, à Mol (province d'Anvers), des recherches et des expérimentations sur le stockage géologique dans l'argile.

Deux roches pour deux stockages géologiques en Hongrie

La Hongrie envisage de disposer à terme de deux stockages géologiques profonds, implantés dans des contextes rocheux distincts. Le premier existe déjà : le *National Radioactive Waste Repository* (NRWR), situé à Bataapáti, est en exploitation depuis 2012. Il réceptionne les déchets radioactifs de faible et moyenne activité dans un massif granitique. Parallèlement, un projet est à l'étude pour développer un stockage géologique profond en formation argileuse, destiné à accueillir les déchets les plus radioactifs.

La roche granitique en Finlande

Localisée sur l'île d'Olkiluoto, à 430 mètres de profondeur dans le granite, l'installation finlandaise Onkalo est en phase d'essais. L'Autorité de sûreté nucléaire finlandaise (STUK) s'est donné jusqu'au 31 décembre 2025 pour se prononcer sur l'autorisation

de mise en service de ce qui pourrait être le premier stockage géologique de déchets radioactifs de haute activité en service dans le monde. Le concept finlandais vise à placer les combustibles usés des centrales nucléaires dans des conteneurs en fonte, eux-mêmes placés dans des enceintes en cuivre, puis de les disposer dans des alvéoles de stockage creusées dans le granite qui seront ensuite refermées par de la bentonite, une argile gonflante.

Des environnements géologiques variés en Allemagne

Après avoir stocké des déchets de faible et moyenne activité dans d'anciennes mines de sel, le gouvernement a choisi en 2019 le site de l'ancienne mine de fer de Konrad, en Basse-Saxe, pour accueillir ce type de déchets. L'installation devrait être opérationnelle en 2030. L'Allemagne a également relancé en 2013 une recherche de sites pour le stockage de ses déchets de haute activité. En 2020, 90 zones ont été identifiées dans plusieurs formations géologiques : le sel, le granite, mais aussi l'argile.



En savoir plus sur les stockages de déchets radioactifs à travers le monde :

https://urls.fr/pBb1_C



Galerie souterraine du stockage géologique hongrois de Bataapáti.



Un scientifique lors d'une opération de contrôle d'un démonstrateur d'alvéole, creusé dans l'argile, au sein du Laboratoire souterrain.

Une roche modèle pour la recherche géologique

Si l'Andra a acquis une très bonne connaissance des argilites du Callovo-Oxfordien, les expérimentations se poursuivent pour parfaire ce savoir.

S'il est une roche particulièrement étudiée en France, c'est bien le Callovo-Oxfordien. Nombre de scientifiques ont participé aux travaux menés au Laboratoire souterrain de l'Andra. « C'est un lieu privilégié pour les chercheurs, car ils sont au plus près de la roche argileuse et peuvent l'étudier en continu », commente Jean-Charles Robinet, chef de département à la direction scientifique et technique. L'ensemble des travaux menés depuis vingt-cinq ans ont démontré la capacité de confinement de la couche du Callovo-Oxfordien. Elle a en effet une perméabilité très faible, ce qui contraint les éléments radioactifs à se déplacer surtout par diffusion, de façon extrêmement lente. Par ailleurs, les chercheurs ont aussi établi que les argilites retiennent la plupart des éléments radioactifs grâce aux minéraux argileux de la roche, qui les fixent à leur surface.

Enfin, ils ont également montré qu'une majorité des radionucléides sont peu solubles dans l'eau présente naturellement dans la roche. Seuls certains radionucléides, très mobiles et à vie longue, peuvent migrer jusqu'aux limites de la couche argileuse, de manière très étalée dans le temps, sur plusieurs centaines de milliers d'années.

Les expérimentations actuelles

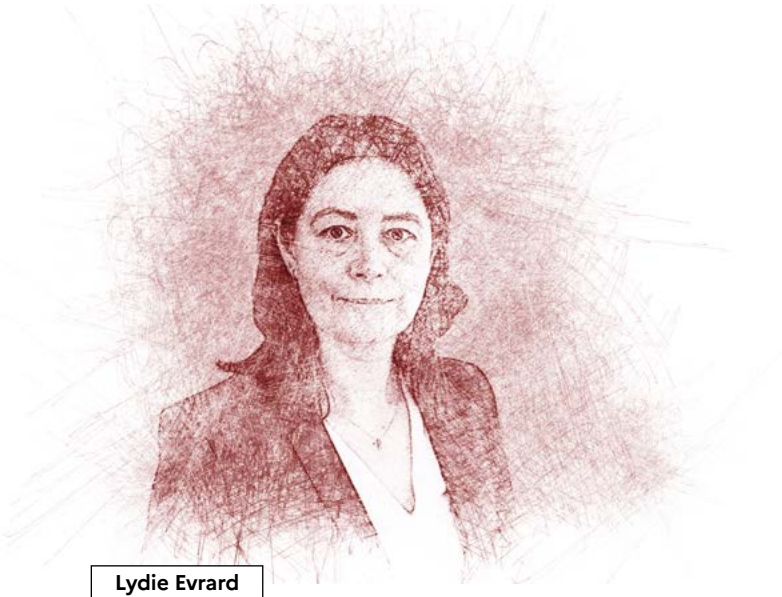
Si de nombreuses connaissances sont déjà acquises, les recherches se poursuivent. « Le Laboratoire souterrain est inscrit dans le temps long, explique Jean-Charles Robinet. Nous poursuivons les expérimentations pour confirmer les acquis sur des échelles plus longues et optimiser la conception de Cigéo. » Les chercheurs de l'Andra travaillent ainsi à la modélisation de la couche argileuse pour évaluer son comportement dans le temps et à l'étude de la pression de l'eau.

Ils testent aussi de nouveaux capteurs, avec l'objectif d'un suivi à distance via les ondes propagées dans la roche. Par ailleurs, des forages ont encore lieu pour préciser la géométrie en 3D de l'argilite : « Il nous faut affiner au maximum cette géométrie pour s'assurer que le tunnelier qui creusera le puits d'accès cible bien le centre de la formation », précise Jean-Charles Robinet. Toujours en matière de construction, des expérimentations sont menées avec de nouveaux matériaux (céramique, béton bas carbone...) pour étudier leurs interactions avec la roche. De nouvelles techniques de creusement sont également à l'essai. « Nous étudions différents usages possibles de l'argile excavée, car elle ne sera pas entièrement utilisée pour remblayer les galeries au moment de la fermeture de Cigéo », annonce Jean-Charles Robinet.

____PORTRAIT____

« L’Andra, une agence de référence, ouverte et engagée »

Lydie Evrard a pris ses fonctions de directrice générale de l’Andra en juin 2025. Elle présente pour le Journal de l’Andra les enjeux à venir pour l’Agence.



Lydie Evrard

L’Andra entre dans une phase charnière de son histoire avec l’avancée de Cigéo. Fruit de plus de trois décennies de recherche et de développement, régulièrement évalué et renforcé par la prise en compte des recommandations ainsi formulées, le projet s’engage dans une nouvelle étape vers sa réalisation. Le dossier d’autorisation de création a fait l’objet d’une instruction technique de l’Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR), et des consultations sont en cours auprès des collectivités territoriales et des parties prenantes. Si le projet est autorisé, la construction de l’installation pourra débuter, ce qui représentera une étape cruciale pour l’Andra et un changement d’échelle qu’il nous faut anticiper d’un point de vue humain et organisationnel.

En parallèle, d’autres enjeux importants doivent être traités, appelant des réponses coordonnées et adaptées, en particulier la mise en œuvre d’une solution de gestion sûre et responsable des déchets de faible activité à vie longue et les enjeux associés aux projets de nouveaux réacteurs en matière de gestion des déchets radioactifs. L’Andra doit aussi veiller au renouvellement des capacités de stockage pour les déchets de très faible activité, notamment avec la mise en œuvre du projet Acaci autorisé en 2024, et préparer le passage en phase de surveillance du Centre de stockage de la Manche.

La sûreté et la protection des personnes et de l’environnement à long terme, le travail en étroite collaboration et en toute transparence avec l’ensemble des acteurs seront des

“ Ma double expérience en France et au niveau international me permet d’aborder les défis de l’Andra avec un regard à la fois exigeant et confiant. La réussite des futurs projets requerra un haut niveau de rigueur et de performance, dans toutes ses dimensions. »

éléments indispensables pour la réussite de tous ces projets, comme ils le sont pour les centres aujourd’hui en exploitation. L’ancrage territorial de l’Agence restera au cœur de notre action. L’écoute et un dialogue de qualité avec les élus, les riverains, les parties prenantes et les services de l’État resteront la ligne directrice de l’Agence.

La réussite des futurs projets requerra un haut niveau de performance au sens général, incluant rigueur, sûreté, protection de l’environnement, ainsi que maîtrise des coûts et des délais. Notre capacité à consolider notre culture de sûreté, à anticiper les besoins de la filière nucléaire pour proposer des solutions de gestion adaptées, à entretenir les bonnes relations que nous avons avec nos partenaires, en France et dans le monde, ainsi que notre capacité à conserver les talents de l’Agence et à en attirer de nouveaux seront les leviers essentiels de notre réussite collective.



“ Les élèves sont rassurés de situer leur village dans le cosmos ! »

À la découverte de l’Univers
Rencontre avec Hélène Courtois

Docteure en astrophysique et professeure à l’université de Lyon 1, Hélène Courtois est mondialement reconnue pour sa découverte de Laniakea, le superamas de galaxies dont l’une abrite notre Terre. Invitée par l’Andra dans le cadre de la fête de la Science en octobre dernier, elle a animé des ateliers de cosmographie avec des collégiens et lycéens ainsi qu’une conférence grand public.



Vous êtes très engagée dans la diffusion de la culture scientifique et de l’éducation pour tous. Pourquoi ?

Une découverte qui reste dans le cerveau de quelques spécialistes n’en est pas vraiment une. Tout le monde a pu comprendre un jour que la Terre est ronde, tout le monde peut se représenter un superamas de galaxies s’il est décrit avec les bons mots et les bonnes images. C’est pourquoi je suis toujours allée à la rencontre de tous les publics, dans les

banlieues, les campagnes, et même au cœur des zones rurales africaines.

Au cours des ateliers que vous avez animés pour l’Andra, vous avez changé l’adresse des élèves...

Pas changé : complété. Ils sont repartis avec une carte de visite où ils ont écrit « Laniakea » après le nom de leur rue, de leur commune, de leur pays, de leur planète, de leur système solaire et de leur galaxie, la Voie lactée. En hawaïen, *Laniakea* veut dire « horizon céleste immense ». C’est le superamas de galaxies dans lequel nous « habitons ». D’après nos calculs, il ferait 500 millions d’années-lumière de diamètre, contiendrait 100 000 grosses galaxies de 100 milliards d’étoiles comme la nôtre, plus un million de galaxies naines. Les élèves ne sont pas impressionnés par ces chiffres. Ils sont même plutôt rassurés de situer leur village dans le cosmos, aussi loin que l’on puisse l’observer.

Quels sont vos nouveaux champs de recherche ?

D’abord, j’ai la chance de participer au programme Euclid. Ce télescope spatial européen lancé en 2023 va nous permettre de cartographier plusieurs milliers de superamas de galaxies jusqu’à 10 milliards d’années-lumière de la Terre. Ensuite, je viens de lancer un programme de recherche sur les grands vides cosmiques, qui occupent 80 % de l’Univers. On suppose aujourd’hui qu’ils sont remplis par une entité invisible, souvent appelée « énergie noire ». Avec mon équipe, nous allons tenter de démontrer que l’on peut mieux saisir les lois de l’Univers en étudiant ces régions mal cartographiées. C’est un défi scientifique très stimulant pour finir ma carrière ! ●

Pour lire l’intégralité de l’interview : <https://aube.andra.fr>



Sous-marins nucléaires : des producteurs de déchets « ordinaires » !

Fin 2024, après trente-sept ans de service actif, le sous-marin nucléaire d'attaque *Émeraude* a entamé son dernier voyage avant son désarmement. Au cours de toutes ces années de fonctionnement, il a produit, comme toute installation nucléaire, des déchets radioactifs. Ces déchets de la Défense nationale sont pris en charge par l'Andra, au même titre que ceux des hôpitaux, des laboratoires de recherche ou encore des industries qui utilisent les propriétés de la radioactivité. Ils sont donc soumis aux mêmes obligations pour être stockés en toute sécurité. Explications.

Indétectables, mystérieux : les sous-marins nucléaires nourrissent les fantasmes. Mais du point de vue de l'Andra, ils ne diffèrent en rien des autres installations nucléaires « civiles », à savoir qu'ils produisent des déchets radioactifs tout au long de leur exploitation, puis lors de leur démantèlement. « 85 % des colis de déchets radioactifs provenant de sous-marins nucléaires que nous recevons sur nos centres de stockage dans l'Aube, le CSA⁽¹⁾ et le Cires⁽²⁾, sont le produit d'opérations de maintenance au cours

de l'exploitation : gants, chiffonnettes, vinyles, petits outils... Les 15 % restants proviennent d'opérations de démantèlement en fin de vie : pièces métalliques, éléments de chaufferie ou de circuit primaire⁽³⁾ », confirme Bastien Planel, ingénieur approbations faible et moyenne activité (FMA), qui étudie les demandes de prise en charge de ces déchets à l'Andra.

Dans les deux cas, les déchets sont orientés en fonction de leur niveau de radioactivité et de leur durée de vie : l'Andra

accueille ainsi les déchets très faible activité (TFA) au Cires, tandis que ceux de faible à moyenne activité principalement à vie courte (FMA-VC) sont destinés au CSA.

Un processus rigoureux

En tant que maître d'ouvrage délégué des programmes de chaufferies nucléaires en France⁽⁴⁾, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) passe régulièrement des commandes à de grands industriels pour la construction de nouvelles chaufferies⁽⁵⁾. Il s'appuie sur l'expertise technique du Service technique mixte des chaufferies nucléaires de propulsion navale (STXN), qui regroupe du personnel civil ou militaire du ministère des Armées et du CEA.

Le STXN est l'interlocuteur de l'Andra pour tout ce qui relève de la prise en charge des déchets radioactifs. Il doit informer l'Agence sur la nature exacte des colis et des déchets qu'il lui adresse : quantité, volume, composition physico-chimique et radiologique, types d'emballage, etc. Leur expédition puis leur

réception sur les sites de stockage de l'Andra sont toujours soumises à l'approbation de l'Agence. Des réunions mensuelles entre le STXN et l'Andra permettent d'anticiper ces opérations et d'optimiser le remplissage des ouvrages et des alvéoles de stockage.

Prise en charge sur les centres de l'Andra dans l'Aube

Les volumes concernés annuellement sont faibles : environ 200 « big bags⁽⁶⁾ » de déchets TFA pour le Cires, 40 fûts à compacter et quatre caissons à injecter de déchets FMA-VC pour le CSA. « Cela représente 0,4 % des 55 000 colis que reçoit l'Andra chaque année, calcule Bastien Planel. Pour nous, il s'agit d'un petit producteur de déchets radioactifs. » À l'arrivée des camions, l'Andra vérifie l'état des colis et effectue des contrôles radiologiques. Des prélèvements peuvent également être effectués pour s'assurer que les déchets sont bien conformes à ce qui a été déclaré et validé. « Nous faisons exactement la même chose que pour le

nucléaire civil : le processus, les documents, les contrôles, les normes sont identiques », précise Bastien Planel. ●

- (1) Centre de stockage de l'Aube.
- (2) Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage.
- (3) Circuit fermé assurant la transmission de la chaleur dégagée dans le cœur du réacteur vers les générateurs de vapeur, qui transforment cette chaleur en vapeur.
- (4) Conformément à « l'Œuvre Commune », qui définit notamment le périmètre des missions entre le ministère des Armées et le CEA.
- (5) Au sein de la Direction des applications militaires (DAM), où ces programmes sont pilotés par la Direction de la propulsion nucléaire (DPN).
- (6) Grands sacs souples servant au conditionnement et au transport de déchets radioactifs de très faible activité.



Sous-marin nucléaire *Le Redoutable*, exposé à la Cité de la Mer à Cherbourg.

SOUS-MARINS NUCLÉAIRES FRANÇAIS : ÉTAT DES LIEUX

Les forces sous-marines françaises disposent aujourd'hui de quatre sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE) dotés d'un armement mettant en œuvre des missiles équipés de têtes nucléaires, et de six sous-marins nucléaires d'attaque (SNA) à l'armement conventionnel.

Les premiers SNLE, de la génération du *Redoutable*, inauguré en 1967 et aujourd'hui exposé à la Cité de la Mer à Cherbourg-en-Cotentin, sont tous en phase de démantèlement et de déconstruction. Ils ont été remplacés par une nouvelle génération de SNLE, de type *Le Triomphant*, mis en service en 1997.

Les SNA de première génération, de classe Rubis (mis en service en 1983), sont progressivement désarmés pour laisser la place aux SNA de deuxième génération, de type Suffren, dont le premier bâtiment a été admis au service actif en juin 2022.



Sous-marin *Le Redoutable* en cours de démantèlement (découpe de la tranche réacteur).



Le sous-marin nucléaire *Saphir* de retour à la base.

5 questions pour tout savoir sur les déchets FA-VL

Les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) se caractérisent par un faible niveau de radioactivité, une très longue durée de vie et une grande hétérogénéité. Leur gestion à long terme implique la mise en œuvre de solutions adaptées et proportionnées.

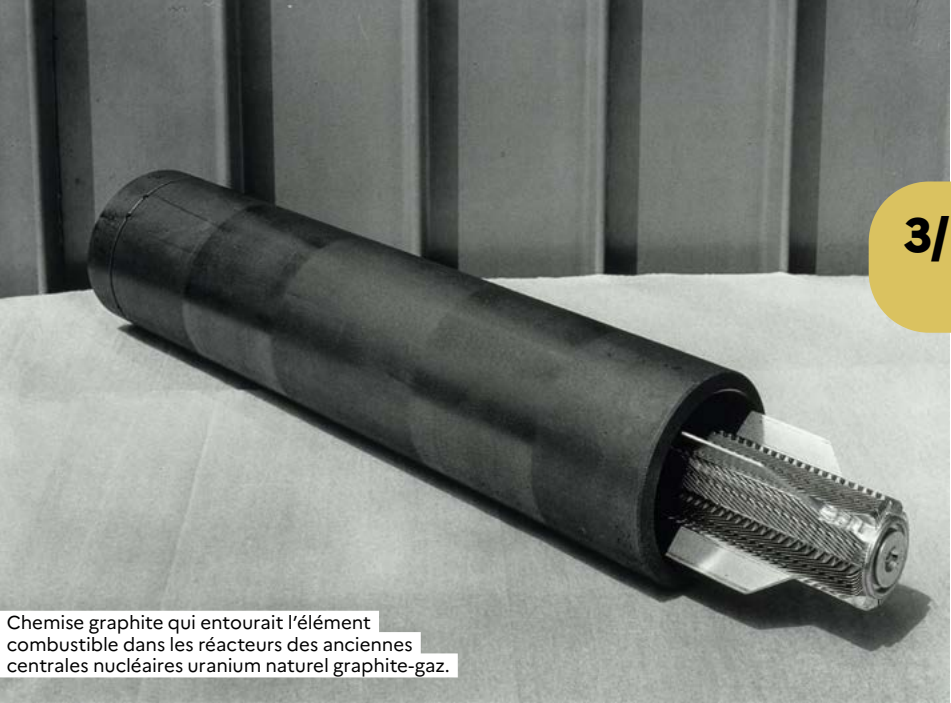
1/ CARTE D'IDENTITÉ

Parmi les déchets FA-VL, on distingue :

- Les déchets radifères : ils sont en grande partie issus d'activités industrielles non électro-nucléaires (usages du radium au début du xx^e siècle, assainissement de sites anciens pollués par le radium, extraction de terres rares).
- Les déchets de graphite : ils proviennent principalement des futurs démantèlements des centrales nucléaires d'ancienne génération uranium naturel graphite-gaz.
- Les déchets bitumés : ils résultent de l'enrobage à chaud des résidus de traitement d'effluents radioactifs produits par le centre du CEA de Marcoule et l'usine Orano de La Hague.
- Les déchets d'exploitation et de maintenance des centres du CEA Marcoule et Cadarache, ainsi que de l'usine Orano de La Hague : boues solidifiées, gravats, plastiques, métal, plâtre, peinture...
- Les résidus de traitement de conversion d'uranium (RTCU) : ils sont produits par l'usine Orano de Malvési au cours de la première étape du processus d'enrichissement de l'uranium pour en faire du combustible. Certains déchets sont déjà conditionnés dans des colis, d'autres ne seront produits que dans cinquante ans et plus.



Tête de paratonic radioactif.



Chemise graphite qui entourait l'élément combustible dans les réacteurs des anciennes centrales nucléaires uranium naturel graphite-gaz.

2/ QUELS ENJEUX POUR LEUR GESTION ?

Les déchets FA-VL existants sont entreposés provisoirement chez leurs producteurs dans l'attente de modes de gestion définitifs adaptés. Pour évaluer les différentes options, plusieurs enjeux doivent être pris en compte :

- Assurer la sûreté des installations pour garantir un très faible impact sur les personnes et leur environnement.
- En phase d'exploitation, maîtriser les risques tout au long des différentes opérations pour protéger les travailleurs et les riverains.
- Après la fermeture du stockage, limiter et ralentir le plus possible la migration dans l'environnement des substances radioactives ou toxiques grâce à la performance des ouvrages de stockage et leur milieu géologique.

3/ QUELLES OPTIONS ?

L'hétérogénéité des déchets FA-VL impose d'envisager plusieurs solutions complémentaires :

- La création d'un ou plusieurs stockages à faible profondeur (une trentaine de mètres). L'Andra travaille depuis plusieurs années sur un site identifié sur la communauté de communes de Vendevre-Soulaines dans l'Aube, pour le stockage d'une partie des déchets FA-VL. Un site complémentaire à faible profondeur pourrait être envisagé pour la prise en charge d'autres familles FA-VL.
- L'orientation de certains déchets FA-VL vers d'autres filières de gestion, sous réserve de remplir toutes les exigences de sûreté, comme les installations de stockage de déchets dangereux, le futur centre de stockage de déchets de très faible activité (TFA) qui prendra le relais du Cires⁽¹⁾ à l'horizon 2040-2045, le Centre de stockage de l'Aube, ou encore Cigéo.
- Les RTCU produits par Orano dans son usine de Malvési avant 2019 sont considérés comme des déchets « historiques ». Dans le cadre du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) 2022-2026, Orano travaille sur un projet de stockage à faible profondeur sur le site.

(1) Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage.

4/ UN NOUVEAU CENTRE À L'ÉTUDE DANS L'AUBE

L'Andra a identifié une zone géologique adaptée au stockage à faible profondeur d'une partie des déchets FA-VL. Située sur le territoire de la communauté de communes de Vendevre-Soulaines dans l'Aube, elle a fait l'objet de diagnostics environnementaux, d'études préliminaires de conception et d'évaluations de sûreté. Il en ressort qu'un stockage à une trentaine de mètres de profondeur assurerait une barrière d'argile suffisante pour isoler les déchets des nappes d'eaux souterraines, et protéger le stockage des phénomènes d'érosion pendant au moins cinquante mille ans. Ces éléments sont détaillés dans un dossier d'options techniques et de sûreté que l'Andra a remis à l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASN) en 2024 au titre du PNGMDR. Une recherche de solutions complémentaires doit toutefois être engagée pour les déchets de graphite ou les déchets bitumés.



Entreposage de colis de déchets FA-VL au bâtiment d'entreposage du Cires de l'Andra dans l'Aube.

5/ PROCHAINES ÉTAPES

L'Andra a rassemblé dans un document synthétique toute l'information disponible sur les déchets FA-VL connus et sur les options de gestion envisageables existantes, en projet ou à définir. Sur cette base, une analyse multicritères multi-acteurs a été lancée par le ministère en charge de l'Énergie. Elle donne l'occasion aux producteurs de déchets radioactifs, aux autorités publiques et aux acteurs de la société civile de formuler leurs observations et attentes. Pour l'Andra, le fruit de cette analyse permettra d'élaborer un premier schéma industriel global de gestion des déchets FA-VL en 2026. En parallèle, l'ASN poursuit l'instruction du dossier d'options techniques et de sûreté pour le stockage à faible profondeur d'une partie des déchets FA-VL.

QUELQUES CHIFFRES

FIN 2023, 122 000 M³ DE DÉCHETS FA-VL ÉTAIENT DÉJÀ PRODUITS, SOIT 5,9 % DU VOLUME TOTAL DES DÉCHETS RADIOACTIFS ET 0,01 % DU NIVEAU DE RADIOACTIVITÉ⁽¹⁾.

(1) Source : Inventaire national des matières et déchets radioactifs.

Former pour mieux sécuriser : le rôle clé de l'Andra auprès des équipes de secours



Découpage de la partie radioactive d'un paratonnerre.

On vous emmène au cœur d'une collaboration essentielle mais souvent méconnue : celle de l'Andra et des services départementaux d'incendie et de secours (Sdis). À travers des formations, l'Agence partage ses connaissances sur les risques radiologiques avec les sapeurs-pompiers pour renforcer la sécurité de certaines de leurs interventions.

L'Andra collecte chaque année auprès des particuliers ou dans les centres de traitement de déchets une cinquantaine d'objets radioactifs, vestiges des premiers usages de radioactivité qui se sont développés au début du xx^e siècle. Dans ce cadre, il arrive que les Sdis soient sollicités pour lever le doute sur la présence de radioactivité ou mettre en sécurité les objets radioactifs. Dans certains départements, il existe d'ailleurs des spécialistes en intervention radiologique et, en cas d'intervention, une unité spécialisée appelée « cellule mobile d'intervention radiologique » (Cmir) est sollicitée.

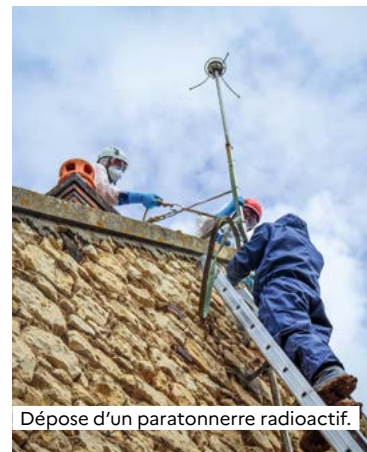
Former pour mieux intervenir

Afin de préparer au mieux ces interventions, l'Andra dispense des formations spécifiques auprès des Sdis et au sein de l'École nationale supérieure des officiers de sapeurs-pompiers (ENSOSP) : « Nous leur montrons les types d'objets radioactifs susceptibles d'être rencontrés : anciennes montres à peinture radioluminescente, minerais radioactifs, pendentifs scalaires, fontaines au radium, etc., précise Christophe Dumas, formateur au sein de l'Andra. Nous les sensibilisons aux exigences de conditionnement avant la prise en charge des colis. »

Cette montée en compétences permet aux secours de sécuriser les lieux d'intervention et de communiquer efficacement avec l'Agence, en fournissant des informations précises (données radiologiques, dimensions des objets, photographies, indications écrites sur l'objet, etc.).

Une collaboration au long cours

De son côté, l'Andra effectue des missions d'expertises complémentaires lorsque des données manquent pour la prise en charge d'objets. Elle s'occupe aussi de reconditionner les colis non conformes aux règles de prise en charge et de transport,



Dépose d'un paratonnerre radioactif.

avant de les collecter. Enfin, elle se coordonne avec le Sdis local lors de la dépose des paratonnerres afin d'organiser une collecte dans les plus brefs délais. Au sein de l'Andra, le service de solutions pour les producteurs non électronucléaires (SNE) intervient depuis plus de quinze ans aux côtés des Sdis. Grâce à cette coopération étroite, les équipes de secours sont mieux préparées pour reconnaître ces objets et faire face à ces situations à risque. ●

AU SERVICE DE L'INTÉRÊT GÉNÉRAL

Une subvention publique de la Commission nationale des aides dans le domaine radioactif (CNAR) permet la prise en charge aidée des déchets radioactifs auprès des particuliers et de certaines collectivités. Ces interventions relèvent du cadre de la mission de service public de l'Andra.



Formation dispensée par l'Andra.

L'Andra, sculptrice de vocations ?

En troisième, Ilona Treve participe à un projet artistique lancé par l'Andra sur la mémoire des déchets radioactifs. Elle imagine une œuvre forte et symbolique, qui orientera sa trajectoire étudiante...

Ilona est étudiante au lycée Charles-de-Gaulle à Chaumont en section Sciences et technologies du design et des arts appliqués. En 2020, elle partage son temps entre ses études au collège et ses chevaux. Rien ne la prédestine alors à s'orienter vers des études artistiques. Le confinement change la donne : elle se met à dessiner. D'abord simple hobby, l'art plastique devient une vraie passion. En 2023, sa classe visite le Centre de stockage de l'Andra dans l'Aube dans le cadre d'un projet artistique et technologique. Ce dernier s'inscrit dans le programme Mémoire de l'Agence, qui vise à transmettre la mémoire des centres de stockage aux générations futures dans plusieurs centaines d'années. « Au départ j'étais perdue ! confie Ilona. Je voulais une œuvre inspirée de la nature en y intégrant l'esprit industriel. »

« Le Gardien d'acier »

Progressivement, son idée prend forme : un arbre comme symbole de nature, sculpté en fil de fer pour rappeler le « côté métallique et sécurisé de l'Andra ». Elle imagine des racines sortantes inspirées du temple d'Angkor au Cambodge, qui « entourent le site comme pour le protéger », des pierres jaunes et noires formant le symbole de la radioactivité vue du ciel et une couverture de mousse florale. Des personnages en résine rappellent que le site accueille des visiteurs. La maquette, qu'elle baptise « Le Gardien d'acier », séduit son professeur ainsi que l'Andra, qui la scanne en 3D pour l'intégrer à une exposition numérique. Ilona s'étonne

« qu'une telle entreprise soit intéressée par mon projet ! ».

Ce projet va marquer un tournant. Encouragée par son professeur, Ilona s'oriente vers un bac Arts appliqués. « Malgré les inquiétudes de ma famille quant aux débouchés, j'ai suivi son conseil », explique-t-elle. En classe de seconde, elle choisit l'option « Création et culture design ». Lors de son année de première, qu'elle vient d'achever, elle présente son « Gardien d'acier » au concours Rotary et décroche la deuxième place. Si elle a confirmé sa passion pour le design d'espace, Ilona rêve de poursuivre ses études en Asie pour en découvrir les spécificités architecturales.

« L'expérience du projet Andra m'a fait mûrir et a guidé mes choix, jamais je n'aurais pensé m'orienter en arts appliqués », conclut la jeune artiste. ●

UN PROJET POUR TRANSMETTRE LA MÉMOIRE

Lancé en 2022, le projet scolaire *Mémoire et identité d'un site* s'adressait aux collégiens de troisième. Objectif : les sensibiliser aux enjeux de mémoire à long terme, en lien avec les centres de stockage de déchets radioactifs, et stimuler leur créativité à travers des œuvres artistiques et techniques.



À taille réelle, « Le Gardien d'acier » aurait une hauteur équivalente à celle de la tour Eiffel.



Découvrir en format numérique le projet scolaire *Mémoire et identité d'un site* : https://urls.fr/vW_W4c



#ON VOUS RÉPOND

Peut-on visiter les installations de l'Andra ?

Oui, et toute l'année ! Particuliers, enseignants, associations, collectivités, professionnels... chacun peut découvrir les coulisses du stockage des déchets radioactifs sur simple demande. Et pour aller encore plus loin, des journées portes ouvertes sont organisées une fois par an. Situés dans le département de l'Aube, le Centre de stockage de l'Aube (CSA) et le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires), seuls sites de stockage de déchets radioactifs en exploitation en



France, accueillent gratuitement le public sur réservation pour des visites guidées. Une occasion unique de découvrir comment ces déchets sont gérés et d'assister en direct à leur réception, aux contrôles et à leur stockage. Soixante kilomètres plus à l'est, le Centre de Meuse/Haute-Marne propose plusieurs formats de visites. En semaine, des visites groupées sur réservation, ou pour les groupes ne pouvant pas venir sur site une visite virtuelle du Laboratoire souterrain où sont menées les recherches sur Cigéo, le projet de stockage géologique des déchets les plus radioactifs. Le week-end, des visites guidées gratuites sans réservation permettent d'explorer l'exposition « Dessus/Dessous » consacrée à Cigéo et de découvrir des prototypes de conteneurs de déchets et des robots conçus pour le projet. Enfin, dans le Cotentin, le Centre de stockage de la Manche (CSM) a été le premier centre français de stockage de déchets radioactifs. Il est aujourd'hui en phase de fermeture. Sa visite guidée, gratuite et sur réservation, commence par une présentation des missions de l'Andra, puis se poursuit à la découverte du site et des installations de surveillance de l'environnement.

Plus d'infos : <https://urls.fr/AnlxZ8>



#ILS SONT VENUS NOUS VOIR



Le Collège de l'énergie nucléaire*.

« Ce voyage d'étude a permis à nos collègues des ministères, de l'Académie française, de la direction générale de la Langue française et des Langues de France, ainsi qu'à nos experts ne connaissant pas les centres de l'Andra d'avoir une vision concrète qui facilitera grandement l'avancement de nos travaux de terminologie et néologie. La diffusion du retour de ce voyage et des supports de présentation ne manquera pas de promouvoir le haut niveau de professionnalisme des équipes de l'Andra, la maîtrise des activités de cette Agence et la qualité de conception de ses sites. Les participants sont unanimes et, en leur nom à tous, je tiens à souligner la qualité de l'accueil, le professionnalisme des intervenants, la clarté des explications et des réponses apportées à toutes nos questions. »

Frédéric Bordas, secrétaire général

* Ce dispositif définit en français les termes techniques spécifiques au secteur du nucléaire et en assure la cohérence terminologique.



Vous aussi, vous souhaitez mieux comprendre la gestion des déchets radioactifs ? Contactez le service Communication au 03 25 92 33 04 ou par mail à comm-centresaube@andra.fr



Que représente cette photo ?

Il s'agit d'une partie de l'escalier installé sur la couverture provisoire d'une alvéole de stockage de déchets de très faible activité au Cires (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage).

Conférences, ateliers pédagogiques, découverte de la nature...

Et si vous receviez nos invitations ?

Dans le cadre de sa mission de **diffusion de la culture scientifique et technique**, l'Andra propose des événements grand public **toute l'année**.



Envoyez-nous vos coordonnées
Nom Prénom – adresse mail et/ou adresse postale
à comm-centresaube@andra.fr !

RGPD

Vos nom, prénom, adresse de messagerie ou adresse postale sont uniquement utilisés pour vous envoyer les invitations de l'Andra aux événements qu'elle organise. Vous pouvez à tout moment vous désinscrire en envoyant un e-mail à comm-centresaube@andra.fr