RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ANDRA

HIVER 2026 N° 53

le Journal de l'Andra

ÉDITION AUBE

Médecine nucléaire : quels déchets, quelle gestion ?

P.10

Sommaire

en bref

P.4 Les certifications de l'Andra renouvelées en 2025

P.4 **Dans les médias** Des podcasts pour célébrer les 25 ans du Labo

P.5 L'Andra au cœur d'échanges internationaux sur Cigéo

P.5 Débat public sur la gestion des matières et déchets radioactifs

tableau de bord

P.6 Baromètre ASNR 2025 : l'opinion des Français sur les déchets radioactifs

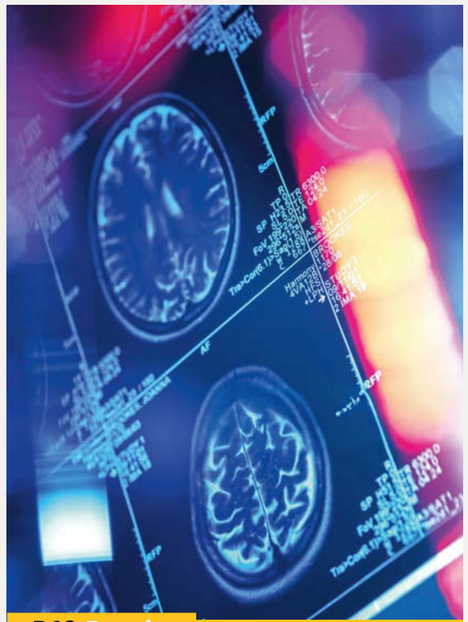
territoire

P.7 Le projet de 3e centre de déchets radioactifs dans l'Aube

P.8 Un engagement RSE concret et local

P.9 Cigéo passe l'étape de l'instruction technique avec succès

dossier



P.10 Dossier

Médecine nucléaire : quels déchets, quelle gestion ?

P.11 À chaque déchet sa filière !

P.12 Médecine et radioactivité : 130 ans de progrès

P.14 Diagnostic par imagerie : faibles doses et vies très courtes

P.15 Radiothérapie : détruire les cellules cancéreuses

P.18 Carte d'identité des déchets médicaux

P.19 À quoi ressemblera la médecine nucléaire de demain ?

portrait

P.20 Flore Denizet, au cœur du système de management de l'Andra

l'invité

P21 Un astrophysicien entre science et fiction. Entretien avec Roland Lehoucq

décryptage

P.22 Événements significatifs : transparence et rigueur

P.23 Gestion des déchets radioactifs au Canada : les projets de stockage progressent

reportage

P.24 Nodssum : plongée à 5 000 m pour mesurer l'impact des déchets immergés

entre nous

P.26 On vous répond Où sont les déchets radioactifs ne disposant pas encore de centre de stockage ?

P.26 #Ils sont venus nous voir

P.27 Photomystère

le Journal de l'Andra

Édition Aube N° 53

Centres industriels de l'Andra dans l'Aube

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

Directrice de la publication : Lydie Evrard • Directeur de la rédaction : Antoine Billat • Coordinatrice éditoriale : Manon Berruer • Rédactrice en chef : Sophie Dubois • Ont participé à la rédaction : Alexia Attali, Manon Berruer, Isabelle de Buyer, Sophie Dubois, Olivier Constant, Valérie Lachenaud, Guillaume Tixier, Séverine Vallat • Responsable iconographie : Sophie Muzerelle • Crédits photos : Andra, ASNR, L. Becet, D. R., C. Depit, N. Dohr, S. Dubois, Flotte océanographique française / campagne NODSSUM, N. Guillaumey, Q. Hoyaux, Initiative Aube, Innovation / L. Honnorat, Institut Gustave Roussy, iLexx / via Getty Images, Laboratoires nucléaires canadiens, NWMO / SGDN, Okénite animation, Oranomed / C. Crespeau, Oranomed / J. Herndon, Wenh / via Getty Images, Wilpunt / via Getty Images • 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/26-0002 • ISSN 2106-8305 (imprimé), ISSN 3037-0248 (en ligne) • Tirage : 47 930 ex.

IMPRIM'VERT® PEFC/10-32-2813

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

Veuillez patienter

Scintigraphie, radiothérapie… la médecine moderne recourt chaque jour à des substances radioactives pour le diagnostic et certains traitements. Cette activité, en forte évolution, génère des déchets radioactifs de natures variées, qui doivent être pris en charge dans des filières dédiées. Quels sont-ils, combien sont-ils, que deviennent-ils ? Le point dans ce dossier, en page 10.

500

C'est le nombre de participants (scolaires et grand public) aux événements organisés par l'Andra dans l'Aube à l'occasion de la fête de la Science. Au programme : une conférence jonglée de Romain Meunier, mêlant humour et science pour déconstruire les préjugés et les idées reçues, ainsi que plusieurs ateliers et une conférence animés par l'astrophysicienne Hélène Courtois sur les structures cachées de l'Univers et l'expansion cosmique.

Les certifications de l'Andra renouvelées en 2025

À l'issue d'un audit mené en octobre 2025, les certifications Qualité (ISO 9001), Environnement (ISO 14001) et Santé-Sécurité au travail (ISO 45001) de l'Andra ont été renouvelées. Ce résultat atteste de la robustesse du système de management de l'Agence et de son engagement à mener ses missions avec sérieux et professionnalisme sur l'ensemble de ses sites et de ses activités. Les certifications de l'Andra font l'objet d'un audit de renouvellement tous les trois ans et d'un audit de suivi chaque année, réalisés par un organisme de certification indépendant et accrédité.

Concours Initiative Aube : l'Andra récompense la Société auboise de broyage robotisé

Le 3 octobre dernier, l'Andra a remis un prix à la Société auboise de broyage robotisé, l'un des 13 lauréats du concours des entrepreneurs de l'Aube 2025[1]. Organisé par Initiative Aube, association dédiée au soutien à la création et à la reprise d'entreprise, cet événement annuel encourage les initiatives innovantes et l'esprit d'entreprendre. Présente depuis plus de trente ans sur le territoire aubois, l'Andra soutient activement l'économie locale, et sa fidèle participation à ce concours illustre cet engagement.

Parmi les 75 dossiers en lice cette année, l'Andra a récompensé celui de Quentin Vicherat, dirigeant de la Société auboise de broyage robotisé, pour l'acquisition d'un robot télécommandé destiné au broyage, au fauchage et à l'élagage dans des zones difficiles d'accès. Un projet en cohérence avec la démarche de l'Agence visant à prévenir les situations à risque et le travail en hauteur dans ses propres activités. L'Andra salue ainsi un bel exemple d'initiative locale et d'innovation.

(1) Anciennement intitulé « Concours de la création et de la reprise d'entreprise ».

dansles médias

Des podcasts pour célébrer les 25 ans du Labo

Pour célébrer les 25 ans du Laboratoire souterrain et les recherches qui y ont été réalisées pour Cigéo, plusieurs salariés et anciens collaborateurs se sont exprimés dans une série de podcasts accessibles sur la chaîne de l'Agence, Radio-Actif. En sept épisodes, ils racontent la vie quotidienne du site, dévoilent les coulisses des expérimentations, reviennent sur les avancées scientifiques et se remémorent certains de leurs souvenirs marquants.

Découvrez les podcasts :
https://podcast.ausha.co/radio-actif

L'Andra au cœur d'échanges internationaux sur Cigéo

Le Centre de l'Andra en Meuse/Haute-Marne a accueilli les 20 et 21 octobre derniers le *Forum on Stakeholder Confidence*[1], organisé par l'Agence pour l'énergie nucléaire[2]. Plus de 30 experts internationaux y ont échangé sur la concertation, la transparence et l'implication du public dans les projets de gestion à long terme des déchets radioactifs.
Le projet Cigéo a servi de référence pour illustrer l'ancrage territorial et les actions menées depuis plus de trente ans par l'Andra pour instaurer un dialogue durable avec les parties prenantes. Élus, représentants associatifs et acteurs institutionnels ont partagé leur expérience.

Les participants au forum devant l'espace technologique du CMHM.

Découverte du Laboratoire souterrain pour les participants du forum.

Les intervenants étrangers ont souligné l'intérêt de ce partage et salué l'avancement du projet français, la qualité de la communication et les efforts de recherche. Ces retours nourrissent la réflexion française sur des enjeux communs, notamment l'implication des jeunes.

Cette édition du *Forum on Stakeholder Confidence* confirme que la France est considérée comme pionnière en matière de dialogue ouvert et durable et que la coopération internationale reste essentielle pour accompagner les projets de stockage.

(1) Forum international sur la confiance des parties prenantes.
(2) Agence spécialisée de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) dédiée à l'énergie nucléaire.

Débat public sur la gestion des matières et déchets radioactifs : l'Andra associée à la concertation nationale

Webinaires, ateliers, rencontres… Pour en savoir plus sur le débat public :
https://urls.fr/bCELwg

Le plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR), établi et mis à jour par le gouvernement, permet d'organiser, de planifier et d'encadrer la gestion des substances radioactives provenant d'activités nucléaires, industrielles, de la recherche médicale ou de la Défense. Actualisé tous les cinq ans, il garantit une gestion sûre, durable et transparente, en tenant compte des enjeux environnementaux, sanitaires, techniques et sociétaux.
Saisie par le gouvernement, la Commission nationale du débat public a organisé un débat public d'octobre 2025 à février 2026 autour de l'élaboration du 6e PNGMDR.
En tant qu'acteur public chargé de la gestion à long terme des déchets radioactifs, l'Andra a contribué à ce débat en apportant son expertise technique et scientifique. L'Agence a également mis à disposition du public des éléments d'information pour éclairer la compréhension des enjeux de sûreté, environnementaux et sociétaux associés aux différentes filières de gestion.
Ce débat constitue un temps fort de la concertation nationale, permettant à chacun de s'informer, d'échanger et de formuler des propositions.

Baromètre ASNR 2025 : l'opinion des Français sur les déchets radioactifs

Tous les ans, l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR)[1] part à la rencontre de plus de 2 000 Français pour évaluer leur perception des risques. Cette enquête[2] comprend des questions sur les déchets radioactifs. En voici les principaux résultats.

LA PERCEPTION DES RISQUES PAR LES FRANÇAIS

50 %

estiment que le risque lié aux déchets radioactifs est important.

(44 % l'estiment moyen, faible ou quasi nul / 6 % NSP[3])

75 %

estiment être « plutôt mal » ou « très mal » informés des risques associés aux déchets radioactifs.

(25 % s'estiment « plutôt bien » ou « très bien » informés)

L'OPINION DES FRANÇAIS SUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

35 %

estiment qu'il est possible de stocker les déchets radioactifs de façon sûre.

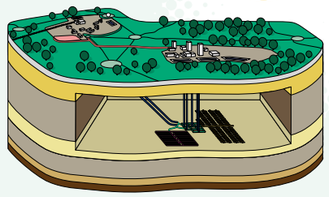
(35 % sont neutres / 30 % ne sont pas d'accord)

64 %

estiment que, pour régler le problème du stockage des déchets radioactifs, le meilleur choix est de se décider et d'appliquer au plus vite la solution.

(29 % souhaitent prolonger les recherches / 7 % laissent le choix aux générations futures)

60 %



n'ont jamais entendu parler de Cigéo.

(40 % le connaissent très bien ou en ont déjà entendu parler)

LA COMPÉTENCE ET LA CRÉDIBILITÉ DES INTERVENANTS DU NUCLÉAIRE

66 %

jugent que l'Andra est un organisme compétent.

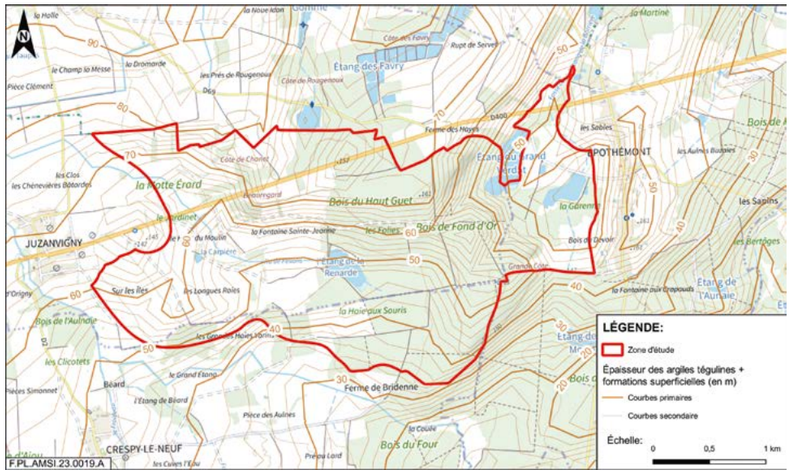
(13 % pensent le contraire / 21 % NSP[3])

(1) Auparavant par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire qui a fusionné depuis le 1er janvier 2025 avec l'Autorité de sûreté nucléaire.
(2) Sondage national réalisé auprès d'un échantillon représentatif de la population française de 2 135 personnes.
(3) Ne sait pas/sans réponse.

Rendez-vous dans le prochain numéro pour découvrir les résultats de l'enquête d'opinion de l'Andra, réalisée fin 2025, notamment auprès des riverains de ses centres.

Le projet de 3e centre de déchets radioactifs dans l'Aube présenté à la Cli

Lors de la dernière réunion publique annuelle de la Commission locale d'information (Cli) en décembre 2025, l'Andra a fait un point sur le projet d'un nouveau centre dans l'Aube pour le stockage notamment de déchets de faible activité à vie longue (FA-VL).



Zone d'étude du projet de 3e centre de déchets radioactifs dans l'Aube.

Le projet présenté par l'Andra avait fait l'objet, en 2008, d'un appel à candidatures auprès de communes françaises présentant une géologie potentiellement compatible avec un stockage à faible profondeur de ces déchets. Deux communes auboises volontaires pour des investigations géologiques avaient été présélectionnées, avant de retirer leur candidature sous la pression des opposants.
Par la suite, les autorités ont demandé à l'Andra de poursuivre ses recherches de sites en privilégiant les territoires des communautés de communes accueillant déjà des installations nucléaires. C'est ainsi que la Communauté de communes de Soulaines-Dhuys (devenue depuis celle de Vendeuvre-Soulaines – CCVS) a accepté en 2013 que soient menées des investigations géologiques sur son territoire, sans pour autant donner son accord sur l'implantation éventuelle d'un centre de stockage.

Une zone d'intérêt identifiée

Après une première campagne d'investigations menée par l'Andra entre 2013 et 2015 sur une zone de 50 km², l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a considéré que le site de la CCVS avait des caractéristiques favorables au stockage de certains déchets FA-VL. Elle a demandé à l'Andra, en lien avec les producteurs de déchets radioactifs, d'approfondir la connaissance de ces déchets, présentant de nombreuses typologies, et de proposer de nouvelles pistes de gestion pour chacun d'entre eux. Une 2e campagne d'investigations géologiques a été menée sur le territoire de la CCVS, entre 2017 et 2019, sur une zone de 10 km².
En 2024, conformément au 5e plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR), l'Andra a remis deux rapports qui marquent une avancée significative :
- un dossier présentant des scénarios de gestion des déchets FA-VL, étape préalable à la définition d'un schéma global de gestion ;
- un dossier d'options techniques et de sûreté pour le stockage à faible profondeur, dans une formation argileuse, d'une partie des déchets FA-VL sur la Communauté de communes de Vendeuvre-Soulaines. Ce dossier est en cours d'instruction par l'ASNR.

En parallèle, l'Andra travaille sur la gestion des déchets de très faible activité (TFA) pour lesquels, au regard des volumes à venir, la capacité du Cires[1] ne suffira pas. Parmi les pistes étudiées, l'Andra intègre ainsi la possibilité de créer une zone de stockage pour les déchets TFA sur le futur centre qui accueillerait des déchets FA-VL. ●

(1) Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage, opéré dans l'Aube par l'Andra.

En savoir plus sur les déchets FA-VL :
https://urls.fr/3MI2dG

Un engagement RSE concret et local

La responsabilité sociétale d'entreprise (RSE) fait partie intégrante de l'Andra. Inclusion, santé-sécurité, qualité de vie au travail, développement durable : autant d'actions au cœur de la mission de l'Andra qui, à travers la RSE, prolonge cet engagement vis-à-vis des collaborateurs de l'Agence et en faveur du dynamisme local. Focus sur plusieurs initiatives menées dans l'Aube.

SOUTENIR LE DÉVELOPPEMENT DU TERRITOIRE
Pour encourager la consommation responsable, l'Andra dans l'Aube s'appuie sur des partenariats locaux. Depuis 2024, 800 kg de fruits et légumes ont ainsi été livrés aux collaborateurs par des producteurs de la région, directement sur leur lieu de travail. Par ailleurs, une dizaine de producteurs et de créateurs du territoire sont venus exposer leurs produits lors du marché de Noël organisé en 2025 au Centre de stockage de l'Aube.

PROTÉGER LA BIODIVERSITÉ
Depuis plusieurs années, l'Andra a adopté le fauchage tardif sur ses sites, une pratique qui favorise la biodiversité en laissant aux plantes et aux insectes le temps de se développer. L'Agence fait également appel à un éleveur pour l'entretien de ses sites : chaque été, des moutons remplacent les tondeuses !

DÉVELOPPER LA SOLIDARITÉ
Courir pour soutenir les personnes en situation de handicap, collecter des bouchons destinés à financer du matériel médical, donner des sous-vêtements inutilisés pour aider des associations de lutte contre le cancer du sein… Les centres de l'Andra dans l'Aube proposent aux collaborateurs différentes manières d'exprimer leur solidarité. Récemment, ces actions ont permis de récolter 1 321 euros pour l'association Handisport, 127 soutiens-gorge pour Donne ton soutif et 48 kg de bouchons pour Bouchons d'amour.

S'ENGAGER COLLECTIVEMENT
Tout au long de l'année, les collaborateurs répondent présent aux actions lancées par la communauté interne RSE. La collecte de dons du sang de Brienne-la-Vieille a ainsi été maintenue grâce à la participation des salariés de l'Andra dans l'Aube. Certains ont également souhaité s'investir au CPIE[1] du Sud-Champagne, à Soulaines-Dhuys, après avoir découvert le site lors de la journée solidaire organisée par l'Andra.

(1) Centre permanent d'initiatives pour l'environnement. Il mène des actions d'étude, de protection de la biodiversité et d'éducation à l'environnement pour tous les publics.

Cigéo passe l'étape de l'instruction technique avec succès

En décembre dernier, l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) a rendu son avis : la démonstration de sûreté de Cigéo est satisfaisante au stade d'une demande d'autorisation de création. Des compléments seront apportés par l'Andra, conformément à ses engagements. Le projet peut se préparer pour la prochaine grande étape vers l'autorisation de création, celle de l'enquête publique.

L'Andra avait déposé la demande d'autorisation de création (DAC) de Cigéo début 2023. Pendant trente mois, l'ASNR a conduit l'instruction technique du dossier avec l'appui de ses experts et de spécialistes indépendants réunis au sein des groupes permanents placés auprès de l'Autorité de sûreté, avant de rendre son avis le 4 décembre dernier. Elle estime que la démonstration de sûreté présentée pour les phases d'exploitation et d'après-fermeture a atteint un niveau de maturité d'ensemble conforme aux attendus pour une demande d'autorisation. *« Notre avis n'est pas décisionnel*, précise Pierre Bois, directeur général adjoint de l'ASNR en charge des déchets radioactifs. *L'autorisation de création ne pourra être donnée que par décret ministériel. »*

Feu(x) vert(s) technique(s)

Même après l'autorisation, l'Andra devra apporter des compléments qui conditionneront de futurs feux verts techniques. L'ASNR identifie des points de vigilance concernant la caractérisation des mécanismes de corrosion des matériaux métalliques des alvéoles de stockage des déchets de haute activité, les ouvrages de scellement, la maîtrise du risque d'explosion dans les alvéoles de stockage des déchets de moyenne activité à vie longue pendant les opérations de fermeture, ainsi que les modalités de gestion des déchets bitumés. *« L'ASNR souligne toutefois que ces points de vigilance ne doivent pas occulter le fait que, sur un grand nombre de sujets, le dossier répond pleinement aux exigences de sûreté attendues à ce stade »*, précise Pierre Bois. Ces études complémentaires ont été programmées par l'Andra à la suite des échanges avec l'ASNR, et leur réalisation est compatible avec le calendrier global du projet. Certaines données seront par exemple apportées grâce à des démonstrateurs en conditions réelles, soit après le lancement de la phase industrielle pilote[1]. Dans cette logique, une mise à jour du rapport de sûreté de Cigéo sera réalisée par l'Andra dix ans après l'obtention du décret d'autorisation de création.

Les parties prenantes consultées

Des parties prenantes comme l'Autorité environnementale et les collectivités locales ont également été invitées à émettre un avis, avant la tenue d'une enquête publique prévue au second semestre 2026. ●

LES PHASES DE L'INSTRUCTION TECHNIQUE DE LA DAC PAR L'ASNR

- Les données de base pour l'évaluation de sûreté de Cigéo (information publiée en juin 2024)
- L'évaluation de la sûreté en phase d'exploitation des installations de surface et souterraines (information publiée en janvier 2025)
- L'évaluation de la sûreté après fermeture (information publiée en juillet 2025)
- La publication de l'avis sur la demande d'autorisation de création de Cigéo (décembre 2025)

(1) Premières années de déploiement et de mise en œuvre du projet visant à conforter les procédés techniques et les modes de gestion en conditions réelles.

Les explications de l'ASNR sur l'avis relatif à la DAC de Cigéo : **https://urls.fr/xS-207**

En savoir plus sur la consultation des parties prenantes : **https://urls.fr/dtw90s**

Médecine nucléaire : quels déchets, quelle gestion ?

Quelques années après sa découverte, la radioactivité a d'abord été utilisée à des fins médicales, pour établir un diagnostic, avec l'imagerie, et pour traiter des tumeurs cancéreuses. En plus de cent ans, la médecine nucléaire a connu de grandes évolutions, tant dans ses pratiques que dans les outils utilisés. Pour l'Andra, les industriels qui élaborent les substances radiopharmaceutiques, les laboratoires de recherche qui les expérimentent, les biologistes qui les utilisent, ou les hôpitaux qui les administrent sont des producteurs de déchets radioactifs qu'il faut accompagner. Ces déchets sont caractérisés, inventoriés, déclarés, puis gérés sur place ou conditionnés afin d'être pris en charge dans les filières appropriées. Tour d'horizon.

Bacs contenant les déchets journaliers issus des traitements à l'iode 131 entreposés dans un local réfrigéré pendant leur décroissance. Service de médecine nucléaire, hôpital d'adultes de Brabois, CHU de Nancy.

À chaque déchet sa filière !

La médecine nucléaire s'appuie sur les propriétés de la radioactivité pour réaliser des images qui servent au diagnostic ou pour détruire, par irradiation, des cellules cancéreuses. Selon leurs caractéristiques, les déchets produits ont un devenir différent.

Les installations de médecine nucléaire sont soumises à une autorisation délivrée par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) et doivent se doter d'un *plan de gestion des déchets et des effluents radioactifs* qui détaille les sources radioactives qu'elles utilisent, les mesures mises en œuvre pour gérer leurs déchets et effluents radioactifs (fioles, seringues, gants et matières biologiques, etc.) et, le cas échéant, leur filière d'évacuation. Tous ces déchets doivent être déclarés à l'Andra, qui en recense les volumes et les localisations dans son *Inventaire national des matières et déchets radioactifs*.

Des déchets à vie très courte

En quasi-totalité, les radionucléides utilisés en médecine nucléaire ont des périodes de radioactivité très courtes, inférieures à cent jours. Ces déchets sont conditionnés dans des emballages adaptés et entreposés sur place dans des locaux dédiés ou dans des cuves spécifiques (urines de patients exposés aux rayonnements, par exemple). Ils sont conservés le temps nécessaire à leur décroissance radioactive. Ce délai est supérieur ou égal à dix fois la période la plus longue des radionucléides présents, soit un peu moins de trois ans. Passé ce délai, ils ne sont plus considérés comme déchets radioactifs et peuvent être évacués vers une filière de gestion adaptée.

Au-delà de cent jours

Dès que les radionucléides ont une période de plus de cent jours, les déchets sont pris en charge par l'Andra selon les spécifications du *Guide d'enlèvement des déchets radioactifs*. La caractérisation et le conditionnement des déchets sont à la charge du producteur. L'Andra en assure la collecte et le transport vers le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) dans l'Aube, où ils sont regroupés et triés. Avant leur stockage, les déchets peuvent être traités au Cires ou sur une installation externe spécialisée, par exemple pour y être incinérés. Selon leur nature, les colis de déchets sont orientés vers la filière de gestion adaptée : le Centre de stockage de l'Aube s'il s'agit de déchets de faible et moyenne activité, principalement à vie courte, ou le Cires pour les déchets de faible activité à vie longue (entreposage provisoire) ou de très faible activité (stockage).

À fin 2024, les déchets radioactifs médicaux stockés ou destinés à être stockés dans les centres de l'Andra représentaient un volume d'environ 8 560 m³, soit approximativement 0,5 % du volume total des déchets radioactifs.

UN GUIDE D'ENLÈVEMENT

Ce guide s'adresse aux producteurs et détenteurs de déchets radioactifs (hôpitaux, universités, laboratoires de recherche, industries, récupérateurs de paratonnerres radioactifs, etc.) hors secteur électronucléaire. Il précise les spécifications techniques pour leur traitement et leur stockage par l'Andra.

Médecine et radioactivité : 130 ans de progrès

Des premiers clichés par rayons X à l'imagerie moléculaire, des traitements au radium à la radiothérapie interne vectorisée (RIV), la médecine nucléaire est une discipline relativement jeune et en constante évolution. Quelques jalons.

Rayons X

Le radiodiagnostic par rayons X est la plus ancienne application médicale des rayonnements ionisants. Les rayons X sont employés pour l'exploration morphologique du corps humain, et à plus forte dose pour irradier et détruire des cellules cancéreuses.

Curiethérapie

Dans un premier temps, pour soigner des lésions et tumeurs cutanées, Henri Becquerel et Pierre Curie placent des petits sachets de radium, dont le rayonnement est de plus haute énergie que les rayons X, directement sur la peau. Puis ils les conditionnent dans de petits tubes scellés implantés au contact immédiat de la tumeur. Aujourd'hui encore, la curiethérapie est couramment utilisée pour soigner les cancers du col de l'utérus, de la prostate, du sein ou de la peau, en recourant principalement à des radioéléments dont le rayonnement est fort mais très localisé : iridium 192, césium 137 et iode 125.

Cobalt 60

Dans les années 1950, le cobalt 60, dont le rayonnement plus puissant pénètre mieux les tissus, succède aux rayons X pour la radiothérapie. Les hôpitaux utilisent également ce radionucléide pour stériliser le matériel médical. Depuis les années 2010, la cobalthérapie (aussi appelée « bombe à cobalt ») n'est plus employée en France. Elle a été progressivement remplacée par les accélérateurs linéaires d'électrons, qui offrent une précision accrue, et dont les dernières générations ont la capacité de produire des faisceaux de photons ou d'électrons à différentes énergies, adaptées à la profondeur et à la localisation de la tumeur à traiter.

Technétium 99m

Le technétium 99m[1] est le radionucléide le plus utilisé en imagerie nucléaire, en particulier en scintigraphie. Il n'émet que des rayons gamma et a une demi-vie très courte, de 6 heures. Il est produit dans les services de médecine nucléaire, avec un générateur appelé « vache à technétium », à partir de molybdène 99 dont la période radioactive de 66 heures permet le transport.

(1) Ici, le « m » signifie « métastable ».

Radiothérapie interne vectorisée (RIV)

Un radionucléide, comme l'iode 131 en pathologie thyroïdienne ou le lutétium 177 contre le cancer de la prostate, est associé à une molécule biologique. Ce radiopharmaceutique est ensuite administré au patient, en injection ou par voie orale. Dans l'organisme, il va se fixer à une cible spécifique, libérant le radionucléide à l'intérieur de la cellule cancéreuse, en épargnant les tissus voisins.

Radiothérapie conformationnelle 3D

Cette technique de radiothérapie externe utilise l'imagerie en 3D (TEP-scan ou IRM) pour faire correspondre la forme du faisceau d'irradiation d'un accélérateur linéaire d'électrons au volume de la tumeur. L'accélérateur est doté d'un bras qui tourne à 360° autour du patient pour faire pénétrer les faisceaux dans la tumeur sous différentes orientations.

1895 Découverte des rayons X par l'Allemand Wilhelm Röntgen. L'image représente l'une des premières radiographies effectuées par le physicien.

1901 Note d'Henri Becquerel et Pierre Curie sur l'action du radium sur la peau.

1913 Le chercheur hongrois George Charles de Hevesy utilise le radium pour en étudier sa distribution dans le corps d'un mammifère. Il s'agit du tout premier traceur radioactif.

1934 Découverte de la radioactivité artificielle : il est possible de créer des isotopes radioactifs.

1937 L'Américain Joseph G. Hamilton effectue la première utilisation clinique du sodium radioactif comme traceur dans le but de diagnostiquer les troubles thyroïdiens. Puis en 1942, on voit apparaître les premières applications thérapeutiques de l'iode 131 et du phosphore 32.

1956 Invention aux États-Unis de la caméra à scintillation (gamma-caméra).

1971 L'Anglais Godfrey Hounsfield invente le scanner et réalise les premières images de cerveau d'un patient par tomodensitométrie.

1975 Premiers prototypes de TEP-scan à l'université de Pennsylvanie.

2000 Apparition de la radiothérapie conformationnelle avec modulation d'intensité.

2020 Nouvelles alphathérapies ciblées au plomb 212.

2025 Premiers essais cliniques en France de thérapies internes par radioligands (qui associent un radionucléide à une molécule capable de cibler les cellules cancéreuses).

Diagnostic par imagerie : faibles doses et vies très courtes

Pour aider au diagnostic de nombreuses pathologies, la médecine nucléaire s'appuie sur l'imagerie scintigraphique. Si la tomodensitométrie (TDM), plus communément appelée « scanner », comme la radiographie reposent sur le même principe – placer de part et d'autre de la zone à explorer une source et un détecteur de rayons X, afin d'obtenir une image morphologique –, la scintigraphie recourt à des sources radioactives qui émettent directement depuis l'organisme.

Injecter des radionucléides

La scintigraphie consiste à administrer au patient, généralement par voie intraveineuse, un produit faiblement radioactif associé à une molécule vectrice ciblant un organe ou une lésion. L'ensemble constitue un médicament radiopharmaceutique. Une gamma-caméra suit la position du médicament dans le corps grâce au rayonnement gamma émis par un radionucléide, le plus souvent du technétium 99m, mais aussi de l'iode 123 pour explorer la thyroïde ou du thallium 201 pour les scintigraphies du myocarde.

L'association entre la tomographie par émission de positons et le scanner (TEP-scan) offre une imagerie plus performante. Le radiopharmaceutique le plus couramment utilisé en TEP est le « FDG » qui associe du fluor 18 à des molécules de glucose. *« Les radionucléides, ou isotopes radioactifs, employés pour l'imagerie sont choisis précisément pour leur faible rayonnement et leur durée de vie très courte, de l'ordre de quelques heures, là où ceux utilisés en radiothérapie ont une période de quelques jours et doivent avoir une activité forte et très localisée »*, explique le Dr Serge Maia, radiopharmacien au CHRU de Tours.

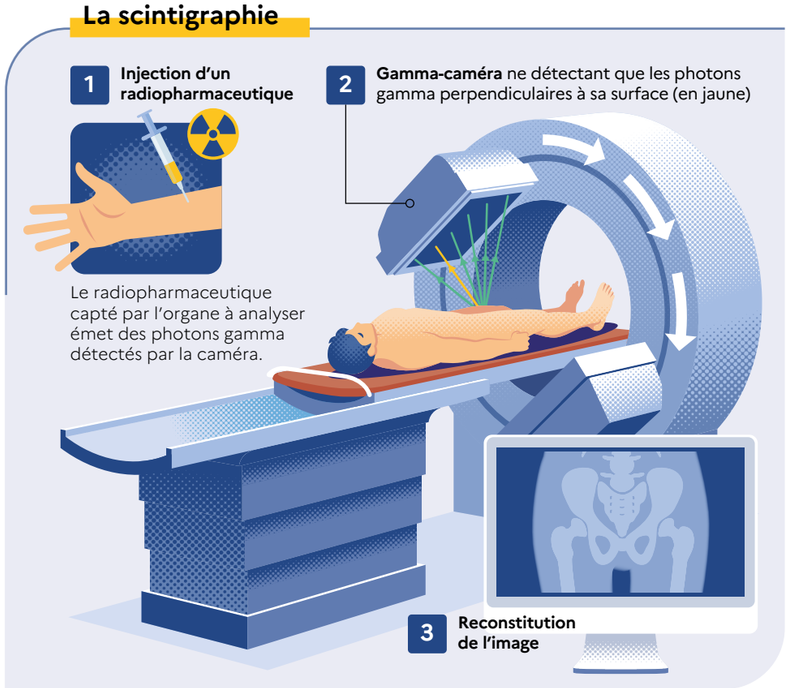
Une gestion sur place

« Vu les durées de vie des radionucléides utilisés en médecine nucléaire, la totalité des déchets radioactifs médicaux, du matériel d'injection aux effluents des patients, est gérée au sein de l'établissement, en décroissance », souligne le Dr Serge Maia. Cette gestion repose sur le tri des déchets solides et liquides, leur entreposage différencié selon leur durée de vie, puis un contrôle avant élimination.

Du côté des cyclotrons

Le fluor 18, dont la période radioactive est de 110 minutes, doit être fabriqué dans un cyclotron à proximité des centres médicaux utilisateurs. Curium Pet France produit ainsi ces radiopharmaceutiques dans 12 sites répartis en France, ce qui engendre un petit volume de déchets de très faible activité (TFA), activés par le cyclotron et collectés par l'Andra : *« Pour chaque site, nous sommes sur des volumes annuels de l'ordre d'une quinzaine de fûts de 30 litres pour les déchets liquides, et d'environ 50 kg de déchets solides conditionnés dans des fûts en plastique de 120 litres »*, détaille Christophe Doré, responsable de l'activité nucléaire chez Curium Pet France.

La scintigraphie



Robot de préparation d'anticancéreux injectables.

Radiothérapie : détruire les cellules cancéreuses

Les rayonnements radioactifs sont largement utilisés dans la lutte contre les cancers. Aujourd'hui, les sources scellées utilisées pour la radiothérapie externe ont été remplacées par des accélérateurs de particules qui n'émettent des rayonnements que lorsqu'ils sont alimentés électriquement. On distingue la radiothérapie externe, qui consiste à générer des rayons X ou des électrons qui traversent la peau pour atteindre une tumeur cancéreuse et la détruire, et la radiothérapie interne, où des radionucléides sont administrés au patient. On parle de radiothérapie interne vectorisée (RIV) lorsqu'ils sont couplés à une molécule qui permet de cibler les cellules cancéreuses.

Radioactivité et biologie

« Les doses utilisées en radiothérapie sont près de dix fois supérieures à celles utilisées pour l'imagerie, mais elles sont extrêmement localisées », souligne le Dr Serge Maia. Là encore, la durée de vie très courte des radionucléides permet leur gestion en décroissance dans les centres de médecine nucléaire, *« à l'exception de ceux utilisés en biologie médicale, pour les analyses "radioimmunologiques" in vitro, dont les périodes radioactives peuvent dépasser les cent jours »*, précise le radiopharmacien. Les flacons de scintillation utilisés pour ces analyses font l'objet d'une catégorie à part entière dans le *Guide d'enlèvement des déchets*, pour en assurer la prise en charge.

« Le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) de l'Andra dans l'Aube dispose d'une machine qui broie les fioles puis les centrifuge afin de séparer les liquides et les solides. Jusqu'à présent, nous demandions aux hôpitaux, aux laboratoires et aux centres de recherche de distinguer les flacons en polyéthylène de ceux en verre. Ce n'est maintenant plus nécessaire, notre machine peut traiter ces flacons de la même façon, ce qui facilite grandement le quotidien des hôpitaux », explique Damien Dubois, responsable du *Guide d'enlèvement* à l'Andra.

De nouveaux traitements

Une nouvelle génération de radiothérapie interne vectorisée (RIV) est en train de voir le jour. Orano Med développe des ›

Préparation des produits radiopharmaceutiques.

Fiole de plomb 212 pour une injection dans le cadre d'une alphathérapie ciblée.

alphathérapies ciblées à partir du plomb 212, un radionucléide générateur de rayonnement alpha avec une demi-vie de 10,6 heures. Sa production est entièrement chimique, par extractions et purifications successives des descendants du thorium 232, sans recours à un cyclotron ou à un réacteur nucléaire. *« En octobre 2025, Orano Med et Sanofi ont présenté des résultats prometteurs issus d'un essai clinique de phase 2 avec leur candidat médicament le plus avancé, AlphaMedix™, dans les tumeurs neuroendocrines. Orano Med développe plusieurs traitements ciblant des récepteurs ou antigènes présents dans différents cancers. Deux essais cliniques sont en cours chez l'être humain afin d'évaluer la sécurité et l'efficacité de ces alphathérapies au plomb 212, notamment dans certains cancers gastro-intestinaux, du pancréas, du poumon, de la prostate ou du sein. Et deux nouveaux essais cliniques de phase 1 devraient être lancés au premier semestre 2026 »*, détaille Sophie Letournel, présidente et directrice générale par intérim d'Orano Med. *« Les déchets que nous ne gérons pas en décroissance sont pris en charge par les centres de stockage en surface de l'Andra »*, souligne-t-elle.

Préparation de radiopharmaceutiques.

Des déchets hors catégorie

Enfin, certains usages médicaux engendrent des déchets non standards. *« Exceptionnellement, on nous contacte pour des sources de curiethérapie anciennes, au radium, dont l'usage est proscrit en France depuis 1977 et, plus couramment, pour les matériaux issus du démantèlement d'accélérateurs utilisés en radiothérapie externe ou pour produire du fluor 18. Un accélérateur démantelé représente un volume d'environ 1 m³ pour une tonne. Ses pièces ont été activées : elles sont devenues radioactives, au fil des usages. Pour les gérer, il faut les caractériser, ce qui n'est pas toujours simple, même si les mesures indiquent que ces pièces sont majoritairement de très faible activité après deux ans d'arrêt »*, détaille Christophe Dumas, responsable de la prise en charge des déchets des producteurs non électronucléaires à l'Andra.

STÉRILISATION

L'irradiation par faisceaux d'électrons, rayons X ou rayonnement gamma est aussi couramment employée pour stériliser le matériel chirurgical et médical à travers son emballage : dispositifs à usage unique tels que les seringues ou les gants chirurgicaux, mais aussi poches de transfusion, prothèses, plaques et vis avant leur administration ou implantation aux patients. Pour l'irradiation par rayonnement gamma, les industriels recourent à des sources scellées de cobalt 60 ou de césium 137. Quand elles sont périmées, ces sources sont retournées à leur fournisseur. Les sources scellées usagées, de période inférieure ou égale à 31 ans (comme le césium 137 [30,1 ans] et le cobalt 60 [5,27 ans]), sont considérées comme des déchets de faible et moyenne activité, principalement à vie courte (FMA-VC), et stockées au Centre de stockage de l'Aube.

L'exposition à la radioactivité dans le domaine médical

1,5 millisievert/an
C'est l'exposition moyenne d'origine médicale des Français.

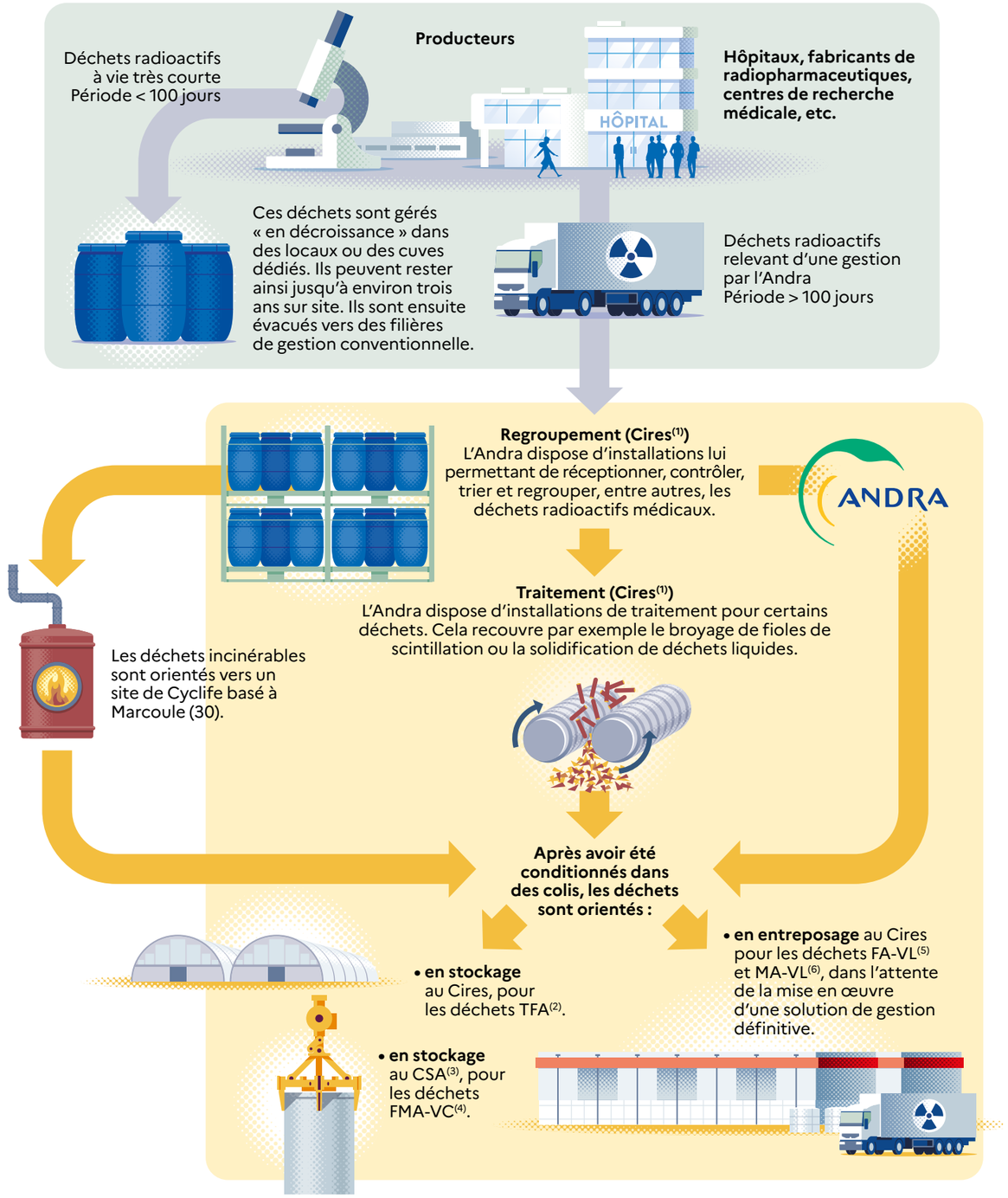
À titre de comparaison, l'exposition moyenne des Français à la radioactivité naturelle est de l'ordre de 3 millisieverts/an.

0,006 millisievert
Exposition due à une radiographie dentaire.

12 millisieverts
Exposition due à un scanner abdominal.

Source ASNR

Le parcours d'un déchet radioactif du secteur médical



(1) Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires)
(2) Très faible activité (TFA)
(3) Centre de stockage de l'Aube (CSA)
(4) Faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC)
(5) Faible activité à vie longue (FA-VL)
(6) Moyenne activité à vie longue (MA-VL)

Carte d'identité des déchets médicaux

Les établissements de santé génèrent des déchets de différentes natures, dont certains sont radioactifs. Quelques repères…

HÔPITAL

DE QUELS DÉCHETS PARLE-T-ON ?

DÉCHETS GÉNÉRAUX

Déchets ménagers (restes alimentaires, papier, carton, plastique, etc.)

Déchets pharmaceutiques (vaccins, médicaments périmés, etc.)

Déchets chimiques (produits d'entretien, désinfectants, etc.)

700 000 tonnes de déchets sont générées chaque année dans les établissements de santé français.

75 à 90 % des déchets produits par les établissements de santé sont des déchets généraux (non infectieux ni dangereux)*.

** Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS).*

DASRI

Déchets d'activités de soins à risque infectieux (DASRI) pointus et tranchants (seringues, aiguilles, scalpels, etc.) ou pouvant contenir des bactéries, parasites ou virus (compresses, poches de sang, etc.)

DÉCHETS RADIOACTIFS

DÉCHETS RADIOACTIFS (tout liquide ou solide ayant potentiellement été contaminés par une source radioactive)

Environ 300 sites déclarent des déchets radioactifs auprès de l'*Inventaire national des matières et déchets radioactifs*. La production annuelle cumulée varie **entre 1 et 10 m³.**

2 360 m³ C'est, à fin 2024, le volume de **déchets radioactifs** géré en décroissance par les établissements du secteur médical.

Environ 1/3 **des colis de substances radioactives transportés chaque année en France sont liés au secteur médical.**

Déchets stockés dans les centres de l'Andra

0,5 % des déchets radioactifs déjà stockés ou destinés à être pris en charge par l'Andra sont issus du secteur médical. **Ce qui représentait environ 8 560 m³ à fin 2024.**

ACCUEIL

Utilisation de produits radioactifs dans un laboratoire pharmaceutique.

À quoi ressemblera la médecine nucléaire de demain ?

Le développement des techniques de radiothérapie s'accompagne du recours à d'autres radionucléides que ceux utilisés jusqu'à présent, qui interrogent les pratiques existantes en matière de gestion des effluents et des résidus radioactifs.

« L'imagerie représente 90 % de l'activité des services de médecine nucléaire. La dosimétrie a fortement décru en dix ans : les machines sont de plus en plus sensibles et les doses injectées de plus en plus faibles », relève Dominique Le Guludec, cardiologue et professeur de médecine nucléaire, ancienne présidente de la Haute Autorité de santé et de l'IRSN[1]. Elle note, avec le développement rapide de la radiothérapie, le recours à des radionucléides différents. *« On assiste à un retour des émetteurs alpha, utilisés par Marie Curie pour traiter des lésions cutanées, avec notamment des essais cliniques en cours sur l'actinium 225. Certains imaginent même utiliser des cocktails de radionucléides associant rayonnement alpha et rayonnement bêta »*, poursuit l'experte.

Nouveaux traitements, nouvelles sources de radioactivité

Pour l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR), le 6e plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR) doit prendre en compte ces évolutions de la médecine nucléaire, notamment le développement de la radiothérapie interne et de l'alphathérapie. *« La réflexion sur l'évolution de la gestion des déchets issus des activités médicales doit être incluse dans le débat public »*, plaide l'instance dans un avis du 4 mars 2025.

« Les traitements par radiothérapie interne vectorisée au lutétium 177 (période radioactive d'environ 7 jours) sont de plus en plus souvent prescrits dans le traitement du cancer de la prostate. La production de ce radionucléide génère du lutétium 177 métastable en très faible concentration (entre 0,00001 % et 0,01 %, selon le mode de production), mais sa période radioactive est de 160 jours. Cette situation a conduit l'ASNR à revoir les conditions d'autorisation des services de médecine nucléaire. Les patients sont gardés au moins 6 heures dans les services, et le recueil de leurs urines permet d'éliminer, après traitement, environ 50 % du lutétium. Le restant, plus long à éliminer, se retrouve dans les eaux usées une fois les patients de retour à leur domicile », explique Émilie Jambu, directrice adjointe à la direction des rayonnements ionisants et de la santé de l'ASNR.

Les effluents radioactifs sous surveillance

Pour éviter d'exposer le personnel des stations d'épurations, les services de médecine nucléaire renseignent un outil développé par l'ASNR, appelé « CIDDRE », qui évalue l'impact des rejets d'effluents radioactifs sur les travailleurs des réseaux d'assainissement. Celui-ci doit rester inférieur à 1 mSv par an. *« Les futurs médicaments radiopharmaceutiques doivent intégrer dès leur conception la question de leur devenir final »*, conclut Émilie Jambu.

(1) Depuis 2025, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a fusionné avec l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), et ils forment désormais l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR).

PORTRAIT

Flore Denizet, au cœur du système de management de l'Andra

Ingénieure système de management à l'Andra, Flore Denizet veille au bon déroulement des opérations des centres de l'Aube au quotidien. Avec un sens aigu de l'analyse et de la pédagogie, elle travaille aux côtés des équipes de terrain pour s'assurer du respect des normes réglementaires et définir des solutions durables, toujours dans un esprit d'amélioration continue.

Flore Denizet

Réception, contrôle et traitement des colis, stockage ou entreposage… Aux centres industriels de l'Andra dans l'Aube, chaque étape de prise en charge des déchets radioactifs doit se dérouler selon des règles précises. Pour cela, l'Andra dispose d'un système de management qui met en œuvre une démarche structurée de ses activités. L'Agence remplit ainsi sa mission dans une logique d'amélioration continue contribuant à la maîtrise de la sûreté, de la radioprotection, de la santé-sécurité et de l'environnement.

Comprendre les anomalies pour mieux agir

La mise en application de ce système de management, c'est le travail de Flore Denizet et de ses deux collègues. Notamment lorsqu'un imprévu survient. *« Une chute d'objet, un appareil de surveillance en panne…* cite-t-elle en exemple. *Nous intervenons auprès des équipes concernées pour analyser ce qui s'est passé et décider des actions à entreprendre pour que cela n'arrive plus. Chacun connaît son métier, mais nous leur apportons notre regard extérieur aiguisé par la trentaine d'incidents que nous décortiquons chaque année.* »

Flore Denizet et ses collègues participent aussi au maintien de la documentation du système de management intégré, à la formation du personnel, ainsi qu'aux revues de direction, de processus, etc., effectuées chaque année. Ils accompagnent les prestataires intervenants, les auditent en fonction du programme de surveillance des activités défini annuellement et supervisent le suivi des actions avec un logiciel spécifique.

> *« Les équipes connaissent leur métier. Nous leur apportons notre regard extérieur, aiguisé par l'expérience. »*

Une solide expérience industrielle

L'industrie, Flore Denizet en connaît les défis. Après son master 2 en Qualité dans les bio-industries, elle a travaillé quelques mois dans l'agroalimentaire, puis sept ans dans un grand groupe français de l'aéronautique. En charge du contrôle qualité dans un laboratoire d'analyses radiologiques, elle est ensuite devenue responsable qualité, sécurité et environnement. De ces expériences, elle retient que la pédagogie est l'une des qualités indispensables à son métier, tout comme la rigueur, l'esprit d'analyse, l'autonomie et l'assertivité. *« Avec l'expérience, on apprend à faire la part entre ce qui est flexible et ce qui ne l'est pas*, estime-t-elle. *Et il faut parfois trancher quand la situation l'impose. »*

Originaire de Soulaines-Dhuys, Flore Denizet saisit l'opportunité de rejoindre l'Agence en 2020 et de contribuer à son système de management. Le poste correspondait à son profil et elle s'y plaît depuis cinq ans. *« J'aime beaucoup ce que je fais ici : c'est très diversifié et on ne s'ennuie jamais. »* Dans ce métier au service de ses collègues, au cœur du territoire où elle est née et où elle est heureuse de vivre avec sa famille, elle a trouvé son équilibre.

Conférence sur « La relativité d'Einstein au cinéma » à Cherbourg-en-Cotentin.

> *« Science et fiction commencent par la même question : "Et si ?"»*

Un astrophysicien entre science et fiction

Entretien avec Roland Lehoucq

Écouter Roland Lehoucq confronter *Interstellar* ou *Avatar* à la théorie de la relativité, c'est retrouver son âme d'enfant et, avec elle, cet élan premier de la science qui naît des « Pourquoi ? » et des « Et si ? ».

Comment naît votre vocation d'astrophysicien ?
Vers 6 ans, je disais déjà : *« Je veux être savant. »* Puis, vers 9 ans, lors de vacances en Aveyron, j'ai été émerveillé par le ciel étoilé. Avec la petite lunette astronomique que mes parents m'avaient achetée, j'ai passé des soirées entières à observer les astres…

Pourquoi avoir choisi très tôt de relier science et science-fiction ?
J'aime partager les connaissances et les rendre accessibles. Et la science-fiction est un excellent point d'entrée pour aborder des notions complexes. Depuis l'enfance, je lis Asimov, Jack Vance, et en BD Moebius, Bilal, Druillet.

Le cinéma est-il un bon terrain pour parler de relativité ?
Oui, car beaucoup de gens ont vu *Star Wars* ou *Interstellar*. On part de ce qu'ils connaissent pour amorcer une réflexion : est-ce plausible ? Pourquoi ?

Science et fiction s'opposent-elles ?
Non. Elles commencent d'ailleurs par la même question : « Et si ? » Einstein, adolescent, se demandait ainsi : *« Et si j'étais assis sur un rayon lumineux, que verrais-je du monde ?»* Quelques années plus tard, il publie la relativité restreinte… Le « Et si ? » est un moteur puissant.

Comment la fiction s'empare-t-elle de la relativité ?
Beaucoup de films imaginent que voyager très vite ralentit le temps. La formulation est fausse scientifiquement, mais elle nourrit l'imagination. Dans *Interstellar*, un an pour le héros peut équivaloir à cinquante ans sur Terre. Ce scénario est cohérent avec la théorie d'Einstein. En revanche, sa faisabilité pose problème : le vaisseau d'*Avatar*, lancé aux deux tiers de la vitesse de la lumière, consommerait 130 000 fois la consommation énergétique mondiale actuelle. Or, l'énergie « magique » n'existe pas.

En 2019, un astéroïde a été baptisé Lehoucq. Que représente cet hommage ?
Un immense honneur. Alain Maury, astronome découvreur d'astéroïdes, a proposé mon nom à l'Union astronomique internationale pour l'astéroïde 31387, situé entre Mars et Jupiter. Il porte mon nom de famille, pas mon prénom, car cela renvoie à une lignée et à une histoire qui dépasse ma personne.

UN « PASSEUR » DE SCIENCES

Né en 1965, ancien élève de l'École normale supérieure et agrégé de physique, Roland Lehoucq rejoint le CEA[1] de Saclay en 1992 comme chercheur. Passionné de science-fiction, il tisse très tôt des liens entre imagination et démarche scientifique. Il est l'auteur et le coauteur d'un grand nombre d'ouvrages de vulgarisation scientifique.

(1) Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.

Événements significatifs : transparence et rigueur

Conformément au code de la santé publique et à la réglementation relative aux installations nucléaires de base (INB), l'Andra a l'obligation de déclarer à l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) tout événement significatif. De quoi s'agit-il ? Explications.

Consultez le rapport annuel d'information sur la sûreté et la radioprotection du Centre de stockage de l'Aube : **https://urls.fr/FzyVbC**

Consulter les avis d'incidents au Centre de stockage de l'Aube : **https://urls.fr/99Nfoj**

QUE SONT LES ÉVÉNEMENTS SIGNIFICATIFS ?

Il s'agit des écarts, anomalies, incidents ou accidents susceptibles de porter atteinte à la radioprotection des personnes, à la sûreté des installations, à la protection de l'environnement ou encore au transport de matières dangereuses. Leur gravité est évaluée selon l'échelle internationale INES[1], qui les classe en sept niveaux allant d'un écart sans importance du point de vue de la sûreté (niveau 0) à un accident majeur (niveau 7) comme ceux de la centrale nucléaire de Fukushima (Japon) en mars 2011 et de celle de Tchernobyl (Ukraine) en avril 1986.

(1) International Nuclear Event Scale *(Échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques).*

ET À L'ANDRA ?

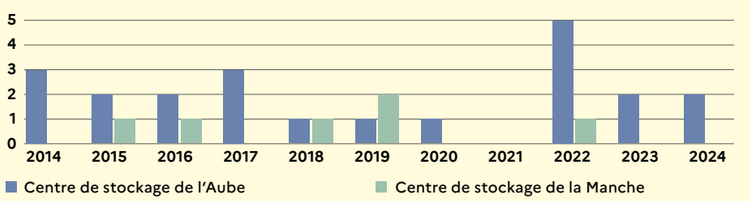
Depuis plusieurs années, les événements significatifs déclarés par l'Andra pour les deux installations INB qu'elle exploite[1] sont de niveau 0. Ils sont listés dans le rapport annuel grand public de chaque site et sont présentés, conjointement avec l'ASNR, à chaque Commission locale d'information (Cli). En 2024, le Centre de stockage de la Manche n'a déclaré aucun événement significatif, tandis que le Centre de stockage de l'Aube en a déclaré 2.

(1) Le Centre de stockage de la Manche (CSM) et le Centre de stockage de l'Aube.

COMMENT SONT-ILS GÉRÉS ?

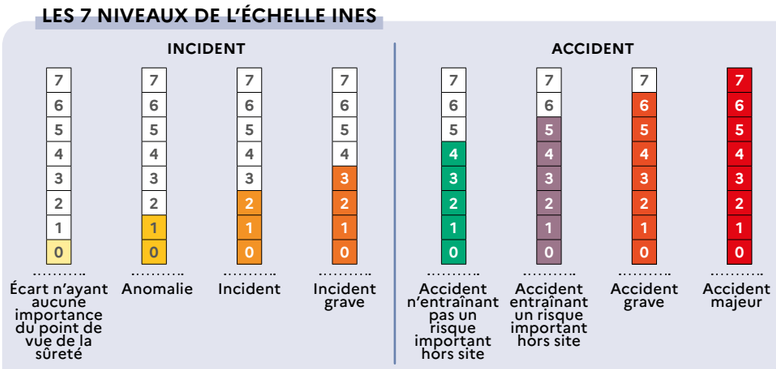
Lorsqu'un événement significatif survient, l'exploitant de l'installation nucléaire doit le déclarer à l'ASNR dans les meilleurs délais avec une proposition de classement sur l'échelle INES. L'ASNR analyse les informations et confirme, ou non, le niveau INES proposé. Toutes les informations relatives à ces événements sont publiques. Ainsi, l'ASNR et l'exploitant communiquent sur leur site Internet à partir du niveau 1 et dans la presse à partir du niveau 2. Dans les deux mois qui suivent la déclaration, l'exploitant transmet à l'ASNR un compte rendu détaillé décrivant ce qui s'est passé, comment l'événement a été détecté, les actions immédiates menées et les causes identifiées. Le document doit aussi évaluer les conséquences possibles et présenter les actions prévues pour éviter la répétition de l'événement. L'ASNR instruit le compte rendu et envoie un rapport à l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).

NOMBRE D'ÉVÉNEMENTS DÉCLARÉS PAR L'ANDRA DEPUIS 2014



Tous ces événements ont été déclarés niveau 0

LES 7 NIVEAUX DE L'ÉCHELLE INES



QUID DES « ÉVÉNEMENTS INTÉRESSANTS » ?

À la différence des événements significatifs, les événements intéressants pour la sûreté, la radioprotection ou l'environnement sont définis par les critères de l'exploitant et font l'objet d'une information (et non une déclaration) à l'ASNR. Ce sont des événements dont l'importance immédiate ne justifie pas une analyse individuelle mais qui se répètent et peuvent donc être le signe d'un problème nécessitant une analyse approfondie.

Image 3D du projet d'installation de stockage en subsurface canadien.

Gestion des déchets radioactifs au Canada : les projets de stockage progressent

Le Canada structure progressivement la gestion à long terme de ses déchets radioactifs et vient de franchir plusieurs étapes clés.

L'exploitation des mines d'uranium ainsi que la recherche et le développement des technologies nucléaires font partie de longue date de l'histoire du Canada. Depuis le début des années 1960, le pays utilise l'énergie nucléaire pour la production d'électricité. Aujourd'hui, quatre centrales situées dans l'Ontario et au Nouveau-Brunswick abritent 17 réacteurs nucléaires en fonctionnement.

L'ensemble de ces activités produit des déchets radioactifs, classés en quatre catégories. Les deux premières (déchets de faible activité et déchets de moyenne activité) concernent essentiellement le fonctionnement des réacteurs nucléaires. Les déchets de haute activité sont constitués principalement de combustible nucléaire usé[1]. Enfin, les déchets issus des mines et des usines de concentration d'uranium forment la quatrième catégorie.

2024 : une année charnière

À l'heure actuelle, seuls des entreposages temporaires permettent de gérer les déchets radioactifs. Mais le pays travaille à des solutions pérennes.

À Chalk River, au nord-ouest d'Ottawa, un premier projet de stockage en subsurface porté par les Laboratoires nucléaires canadiens (LNC) cible les déchets de faible activité (équipements de protection individuelle, matériaux de construction contaminés, etc.). La plupart proviendront des activités de recherche du site LNC à Chalk River. En janvier 2024, la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) a donné son feu vert pour la construction de l'installation.

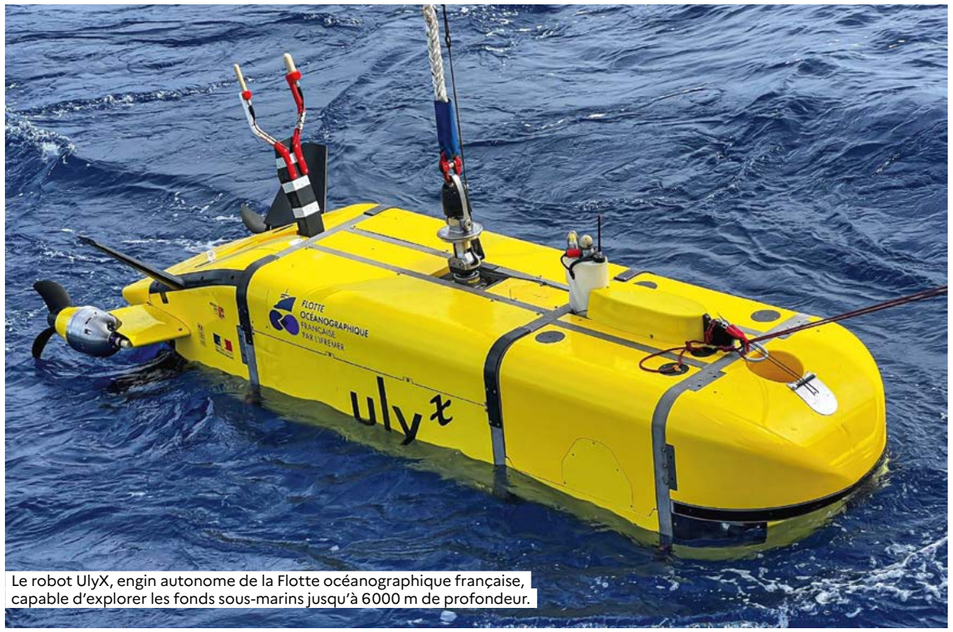
Un autre projet, piloté par la Société de gestion des déchets nucléaires (SGDN), concerne le stockage géologique profond des combustibles nucléaires usés. À l'issue des études d'impact environnemental et de sûreté, ainsi que d'un processus de sélection et de concertation, une formation rocheuse dans le nord-ouest de l'Ontario a été retenue en novembre 2024. Sous réserve des autorisations nécessaires, la construction du stockage pourrait commencer vers 2033, et le démarrage de l'exploitation au début des années 2040.

Maquette du projet de stockage géologique canadien.

(1) Qui n'est pas retraité au Canada, contrairement à la France.

Nodssum : plongée à 5000 m pour mesurer l'impact des déchets immergés

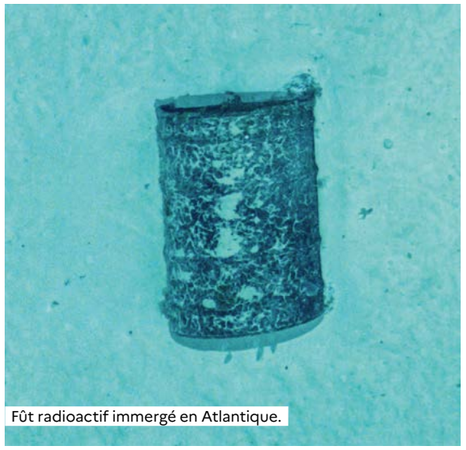
L'un des premiers moyens utilisés pour isoler les déchets radioactifs de l'être humain a été l'immersion dans les océans. Plusieurs décennies plus tard, une nouvelle expédition de surveillance cherche à comprendre ce que sont devenus ces fûts immergés dans les années 1960 et à mesurer leur impact sur l'environnement.



Le robot UlyX, engin autonome de la Flotte océanographique française, capable d'explorer les fonds sous-marins jusqu'à 6000 m de profondeur.

Un peu d'histoire

Entre 1949 et 1982, plus de 200000 fûts contenant des déchets faiblement radioactifs ont été immergés sur différents sites dans l'Atlantique Nord-Est, par plusieurs pays européens (dont la France). À l'époque, l'océan, jugé stable et profond, apparaissait comme un isolant naturel. Le dépôt de ces fûts en fonds marins, après conditionnement pour les plus actifs d'entre eux, était alors considéré comme sûr par la communauté scientifique, car la distance avec la surface, la dilution et la durée présumée d'isolement apportées par le milieu marin étaient estimées suffisantes. La Convention de Londres de 1972 a mis en place un contrôle de l'immersion de déchets en mer, avant une interdiction définitive de cette pratique en 1993, décision fondée sur des considérations morales, sociales et politiques. Des programmes de surveillance des sites d'immersion ont été menés à partir des années 1980, à la suite de l'engagement des pays signataires de la convention d'effectuer un suivi scientifique des déchets radioactifs en mer. La surveillance s'est arrêtée dans les années 1990, car les analyses n'ont montré aucune augmentation de la radioactivité.


Fût radioactif immergé en Atlantique.

Cartographier l'héritage des abysses

Depuis, la connaissance des fonds marins s'est enrichie et les scientifiques savent désormais que les abysses abritent un écosystème. C'est dans ce contexte que, le 16 juin 2025, la mission Nodssum, menée par le CNRS[1] et l'Ifremer[2], a mobilisé une quarantaine de chercheurs français et étrangers. À bord du navire *L'Atalante*, fleuron de la Flotte océanographique française, ils avaient pour mission de cartographier, de photographier et d'analyser les déchets immergés entre 1971 et 1982 à près de 4700 mètres de profondeur, à un millier de kilomètres au large de la Bretagne. Équipé du robot autonome UlyX, capable de plonger à plus de 6000 mètres, le navire a sondé une zone de 163 km², recensant 3350 fûts. Cinquante d'entre eux ont pu être photographiés avec une précision inédite.

« Nous avons pu effectuer trois plongées pour réaliser des prises de vues permettant d'observer une vingtaine de fûts dans des états plus ou moins dégradés. Au global, nous avons plus de 300 échantillons à analyser : différents organes de poissons, différentes profondeurs pour chacune des carottes… complète Patrick Chardon, responsable de la mission. *Ces données, combinées à la cartographie des fûts, vont nous permettre de sélectionner les zones les plus pertinentes à étudier lors de la campagne de 2026, qui prévoit des prélèvements cette fois-ci à proximité immédiate, voire directement sur les fûts. »*

Un passé immergé, un avenir à explorer

La durée de vie des fûts métalliques avait été estimée entre vingt et vingt-cinq ans, un délai largement dépassé. Certains sont désormais colonisés par la faune abyssale, d'autres présentent des signes de corrosion. L'enjeu, à la fois scientifique et mémoriel, est de comprendre comment ces matériaux interagissent avec les écosystèmes profonds et de transmettre ce savoir.

Une deuxième campagne sera organisée en 2026 pour aller sonder les profondeurs de l'Atlantique Nord-Est, cette fois au contact direct des fûts. Objectif : étudier la vie qui s'y est installée et prélever sédiments, eaux et organismes vivants au plus près des sources potentielles de contamination. Ces analyses permettront de mieux comprendre :

- la corrosion réelle des fûts après plus de cinquante ans sous pression ;
- la dispersion éventuelle des radionucléides dans l'écosystème marin ;
- et l'impact biologique sur les espèces abyssales qui ont colonisé ces dépôts.

Cette nouvelle campagne ne vise pas à récupérer les déchets, mais bien à comprendre ce qui se passe dans ces sites sous-marins pour en assurer un suivi à long terme.

Le rôle de l'Andra : rendre accessibles les données sur les déchets immergés

Si l'Andra ne participe pas aux expéditions de surveillance, elle joue un rôle clé dans la diffusion des informations sur ces déchets immergés, notamment à travers l'*Inventaire national*[3]. Cette mission découle des travaux du Grenelle de la Mer de 2009, où l'engagement a été pris de « *consolider l'inventaire des décharges sous-marines de déchets nucléaires, en apprécier la dangerosité et établir des priorités pour réaliser des analyses sur la faune et la flore sédentaires et les sédiments* »[4]. Un moyen de récolter des informations relatives à l'immersion des déchets radioactifs au niveau international, incluant les données propres aux déchets radioactifs français.

Le travail de recensement de l'Andra a permis de reconstituer un atlas précis des immersions passées : la France a par exemple immergé plus de 45000 fûts lors de deux campagnes menées en 1967 et 1969, soit environ 14000 tonnes de déchets, principalement des boues de traitement et du matériel de laboratoire faiblement radioactif. Ces opérations, menées sous l'égide d'une organisation internationale, l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN), se situaient à environ 1000 kilomètres des côtes françaises, dans le golfe de Gascogne.

(1) Centre national de la recherche scientifique.
(2) Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer.
(3) Inventaire de l'intégralité des matières et déchets radioactifs présents sur le territoire français mis à jour chaque année par l'Andra.
(4) Livre bleu des engagements du Grenelle de la Mer – 10 et 15 juillet 2009.

1946
Premières immersions de déchets radioactifs par les États-Unis dans le Pacifique

1949
Première immersion européenne (Royaume-Uni) dans l'Atlantique Nord-Est

1967 et 1969
Campagnes coordonnées par l'AEN, avec participation de la France

1972
Signature de la Convention de Londres pour le contrôle de l'immersion

1993
Interdiction internationale de l'immersion des déchets radioactifs

2009
Grenelle de la Mer – L'Andra se voit confier la consolidation des inventaires

2025
Mission Nodssum 1re campagne

2026
Mission Nodssum 2e campagne

#ON VOUS RÉPOND

Où sont les déchets radioactifs ne disposant pas encore de centre de stockage ?

Les déchets radioactifs qui ne disposent pas encore de centre de stockage pour leur gestion à long terme restent entreposés temporairement sur leur lieu de production ou dans des installations dédiées. C'est le cas des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL), de moyenne activité à vie longue (MA-VL) et de haute activité (HA). Quelques exemples :

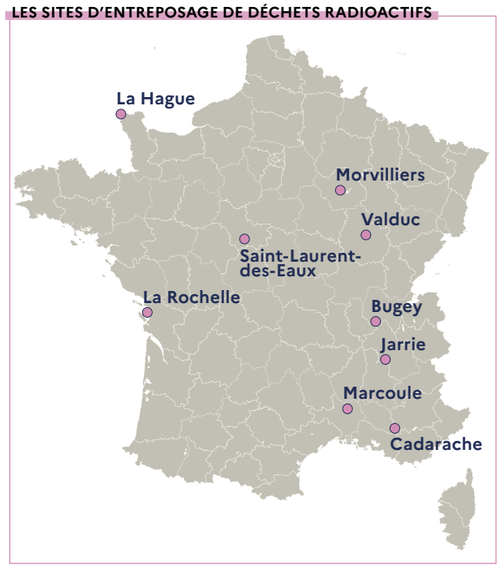
• Les déchets FA-VL issus d'activités non électronucléaires sont orientés vers un bâtiment d'entreposage géré par l'Andra sur le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) de l'Aube.

• Les déchets MA-VL provenant des centrales nucléaires en exploitation et de certaines centrales en démantèlement sont désormais entreposés de manière centralisée sur l'Installation de conditionnement et d'entreposage de déchets activés (Iceda), située sur le site de la centrale nucléaire d'EDF du Bugey (01).

• Les déchets HA issus du retraitement des combustibles usés sur le site d'Orano La Hague (50) sont entreposés sur place (les déchets sont vitrifiés puis coulés dans des conteneurs en acier inoxydable avant d'être placés dans des puits ventilés).

Les déchets MA-VL et HA sont prévus pour être stockés dans Cigéo.

LES SITES D'ENTREPOSAGE DE DÉCHETS RADIOACTIFS



Pour plus d'informations : **https://urls.fr/AnlxZ8**

#ILS SONT VENUS NOUS VOIR

Yves Guenon, fondateur du cabinet de conseil Izibani et président de la chambre de commerce franco-sud-africaine (FSCC), accompagnait une délégation sud-africaine.

« L'Afrique du Sud est actuellement le seul pays d'Afrique exploitant, depuis maintenant plus de quarante ans, deux réacteurs nucléaires. Dans le cadre de son plan énergétique, le gouvernement sud-africain a décidé de relancer le développement nucléaire dans son mix énergétique d'ici 2050. La présence à Paris, pour le salon World Nuclear Exhibition, des responsables sud-africains d'Eskom (production), de Nesa (équivalent du CEA) et de NRWDI (équivalent de l'Andra) était une opportunité à ne pas manquer pour leur organiser une visite du Centre de stockage de l'Aube et du Laboratoire souterrain de l'Andra, et pour pouvoir démontrer l'excellence des choix français, la qualité de nos sociétés industrielles et de nos équipes de recherche. Cette visite a aussi permis de signer un accord de collaboration entre l'Andra et NRWDI. Un grand merci à toute l'équipe de l'Andra qui a permis ces visites inoubliables. »

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

PHOTOMYSTÈRE

Que représente cette photo ?

Ce sont des déchets métalliques de très faible activité issus du démantèlement d'une installation nucléaire et stockés au Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires).

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ANDRA

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