



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

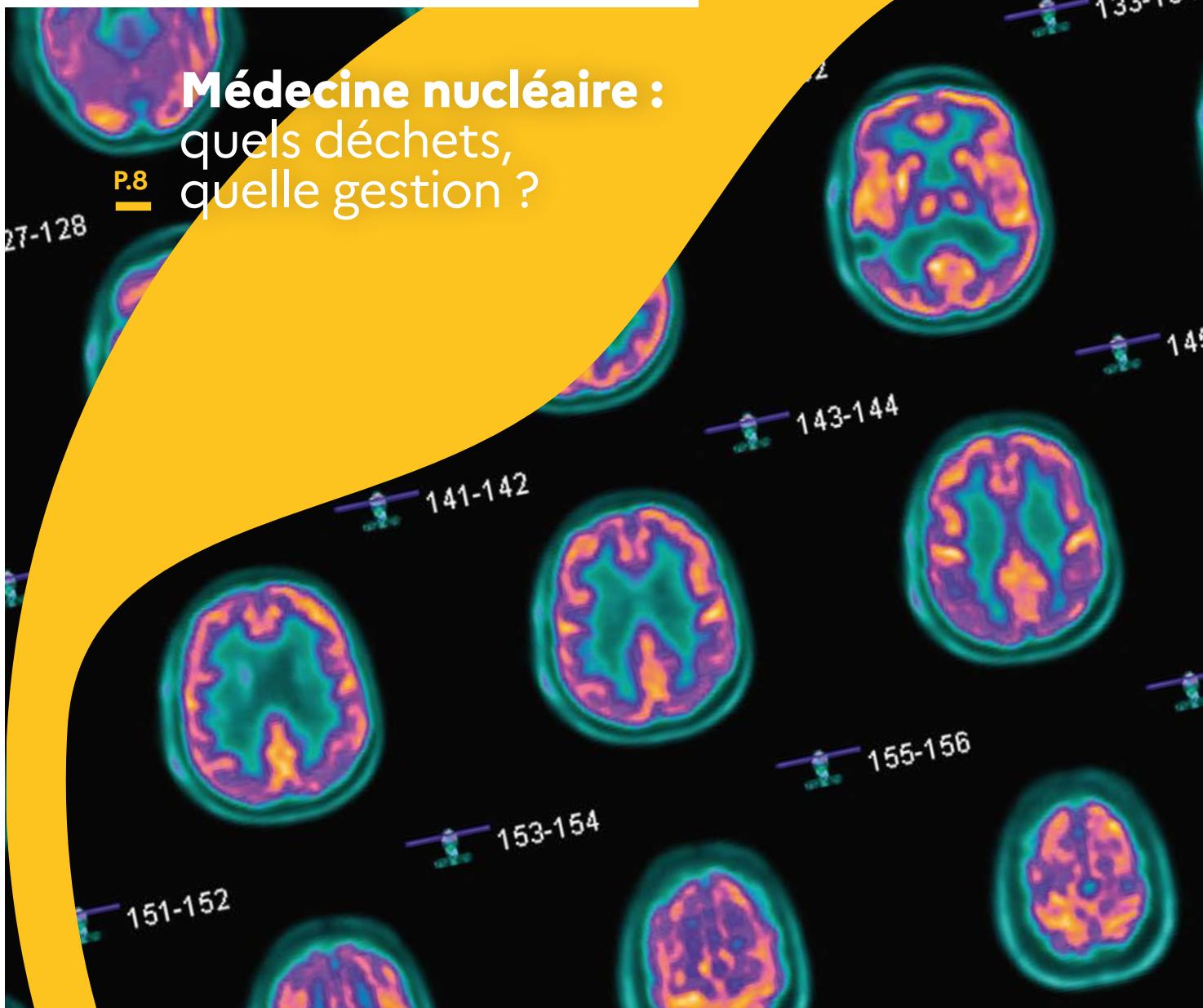


HIVER 2026 N° 53

le Journal de l'Andra

— ÉDITION MANCHE

Médecine nucléaire :
P.8 **quels déchets,
quelle gestion ?**



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 Belgique : première pierre posée



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 Couverture du centre de stockage : entre biodiversité et sûreté



P.7 Record de fréquentation en 2025

le Journal de l'Andra | **Édition Manche N°53**
Centre de stockage de la Manche
ZI de Digulleville - BP 807 - DIGULLEVILLE - 50440 LA HAGUE -
Tél. : 0 810 120 172 - journal-andra@andra.fr

Directrice de la publication : Lydie Ehrard • Directeur de la rédaction : Antoine Billat • Coordinatrice éditoriale : Manon Berruer • Rédactrice en chef : Marie-Pierre Germain • Ont participé à la rédaction : Manon Berruer, Isabelle de Buyer, Olivier Constant, Valérie Lachenau, Guillaume Tixier, Séverine Vallat • Responsable iconographie : Sophie Muzerelle • Crédits photos : Andra, ASNR, D.R., N. Dohr, S. Fleury, Flotte océanographique française / campagne NODSSUM, N. Guillaumey, Innovation / L'Honorat, Institut Gustave Roussy, Lexx / via Getty Images, Manatour, Okénite animation, ONDRAF, Oranomed, C. Crespeau, Oranomed / J. Herndon, 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 : BLO Toul - Siret 43761704600044 - Imprimé sur du papier issu de forêts durablement gérées dans une imprimerie certifiée Imprim'vert • © Andra • DDP/DICOM/26-0003-ISSN 2106-7643 (imprimé), ISSN 3037-023X (en ligne) • Tirage : 37825 ex.

dossier



P.8 Dossier

Médecine nucléaire : quels déchets, quelle gestion ?

P.9 À chaque déchet sa filière !

P.10 Médecine et radioactivité : 130 ans de progrès

P.12 Diagnostic par imagerie : faibles doses et vies très courtes

P.13 Radiothérapie : détruire les cellules cancéreuses

P.16 Carte d'identité des déchets médicaux

P.17 À quoi ressemblera la médecine nucléaire de demain ?

portrait

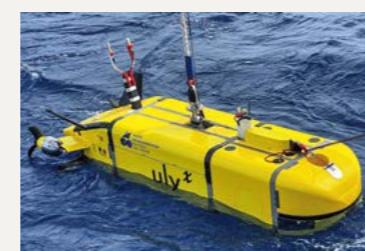
P.18 Léa Lequertier, maître d'œuvre dans l'âme

l'invité



P.19 Un astrophysicien entre science et fiction. Entretien avec Roland Lehoucq

décryptage



P.20 Nodssum : plongée à 5 000 m pour mesurer l'impact des déchets immersés

entre nous

P.22 On vous répond
Où sont les déchets radioactifs ne disposant pas encore de centre de stockage ?

P.22 #Ils sont venus nous voir
P.23 Photomystère

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 8.

ABONNEMENT GRATUIT

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

150



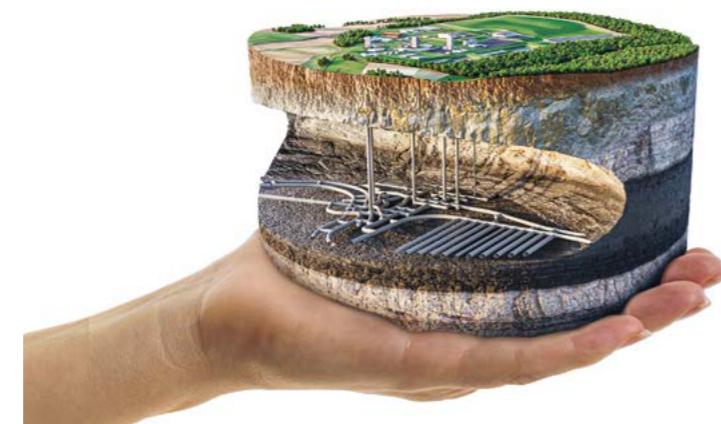
personnes ont participé aux animations organisées par l'Andra dans la Manche pour la fête de la Science en octobre dernier. Au programme : visites du centre de stockage et de l'exposition « Temps du ciel, temps des hommes », ainsi qu'une conférence sur « La relativité d'Einstein au cinéma » animée par l'astrophysicien Roland Lehoucq (voir page 19), à laquelle 75 personnes ont assisté.



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.

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



En décembre 2025, après trente mois d'instruction, l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASN) a estimé que « la démonstration de sûreté présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo, 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 de création d'un centre de stockage géologique ». L'Andra devra toutefois apporter des compléments, par exemple via des démonstrateurs ou des études menées en conditions réelles. Des parties prenantes comme l'Autorité environnementale et les collectivités locales ont également été invitées à émettre un avis lors d'une phase de consultations commencée en octobre 2025. Prochaine étape : une enquête publique au second semestre 2026. ●

Belgique : première pierre posée pour l'installation de stockage en surface des déchets radioactifs



L'installation est prévue pour être exploitée durant environ cinquante ans. À son terme, le site sera recouvert d'une couverture, à l'instar du Centre de stockage de la Manche. Il fera alors l'objet d'une surveillance durant trois cents ans. « La réalisation de cette installation de stockage n'aurait jamais été possible sans le soutien des habitants de Dessel et de Mol depuis vingt-cinq ans », estime Marc Demarche, directeur général de l'Ondraf. ●



Vue 3D de la future installation de stockage en surface.

Pour en savoir plus, rendez-vous au centre de visiteurs de Tabloo ! Créé par l'Ondraf à Dessel, il propose une exposition interactive sur la radioactivité ainsi qu'un parcours vers le futur centre de stockage ponctué de panneaux d'information.

dans les 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.asha.co/radio-actif>



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

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 sociaux.

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 6^e 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



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



a également mis à disposition du public des éléments d'information pour éclairer la compréhension des enjeux de sûreté, environnementaux et sociaux 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.

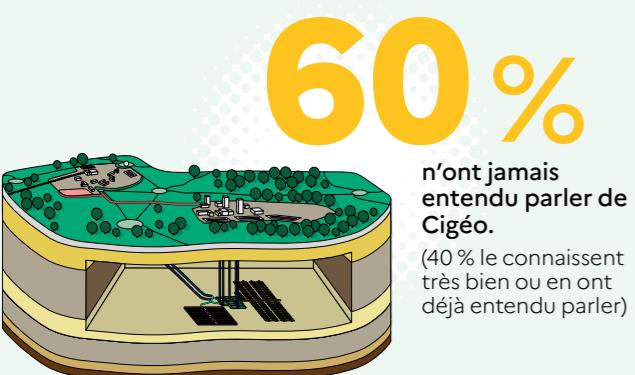
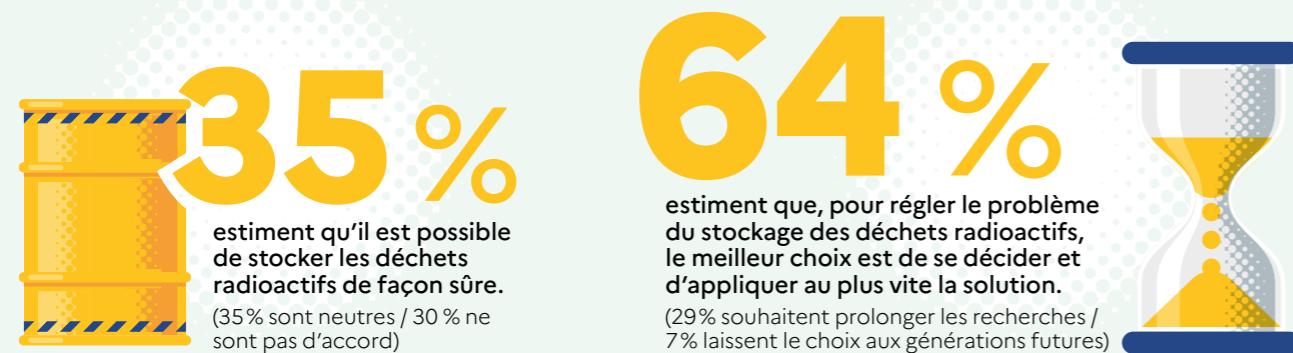
Baromètre ASNR 2025 : l'opinion des Français sur les déchets radioactifs

Tous les ans, l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR)⁽¹⁾ part à la rencontre de plus de 2000 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



L'OPINION DES FRANÇAIS SUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS



LA COMPÉTENCE ET LA CRÉDIBILITÉ DES INTERVENANTS DU NUCLÉAIRE



(1) Auparavant par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire qui a fusionné depuis le 1^{er} janvier 2025 avec l'Autorité de sûreté nucléaire.
(2) Sondage national réalisé auprès d'un échantillon représentatif de la population française de 2135 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.

Couverture du centre de stockage : entre biodiversité et sûreté

Entre 2008 et 2023, une étude écologique a été menée par l'Andra sur la couverture du Centre de stockage de la Manche. L'objectif était d'analyser l'évolution de la végétation et des sols lorsqu'il y a très peu d'entretien, afin de vérifier l'impact sur la sûreté de la couverture. Pour cela, des « placettes », c'est-à-dire des petits espaces, ont été délimitées sur la couverture afin d'y observer ces évolutions de la faune et de la flore. Les résultats de ce suivi ont été présentés à la Commission locale d'information en décembre 2025.

Le suivi a mis en évidence une croissance naturelle de la végétation et le développement d'espèces protégées, végétales et animales, sur la couverture. Si cette dynamique est positive pour la biodiversité, le

développement des racines de certaines espèces peut toutefois constituer un risque pour la pérennité de la couverture à moyen ou long terme.

L'expérimentation arrivant à son terme, l'Andra prévoit plusieurs actions pour supprimer ces espaces expérimentaux tout en préservant les espèces

observées : déplacement de certaines placettes sur le sommet de la couverture, suppression progressive des zones où ont poussé de petits arbustes, création de nouveaux espaces favorables à la biodiversité hors du site et adaptation des pratiques de fauche⁽¹⁾.

(1) Coupe régulière de la végétation afin de limiter le développement des arbres et arbustes.



Record de fréquentation en 2025

Visites guidées, journée portes ouvertes, escape game : en 2025, plus de 2200 personnes ont visité le Centre de stockage de la Manche (CSM). Quelques témoignages parmi bien d'autres...



Élise Berollati, touriste :

« Nous avons profité d'une semaine de vacances dans la région pour faire l'escape game en famille. À la fois ludique et enrichissante, cette visite itinérante dans ce lieu saisissant a plu à tous. J'ai davantage pris conscience de la mission de l'Andra. J'ai notamment découvert le travail autour de la mémoire, essentiel pour les générations futures. »



Christophe Richard, enseignant :

« En tant que professeur de sciences physiques, j'étais curieux d'en apprendre davantage sur les activités de l'Andra et j'ai donc profité de l'opération "Professeurs en entreprise" pour me rendre au CSM. Mes interlocuteurs se sont montrés très disponibles, j'ai eu des réponses précises et rassurantes. Je recommande largement cette visite. »



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 (ASN) 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.

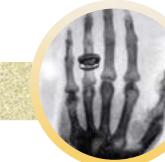
Rayons X

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 iodé 125.

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



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



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



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'iodé 131 et du phosphore 32.



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



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 cobalthonthérapie (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.

Radiothérapie interne vectorisée (RIV)

Un radionucléide, comme l'iodé 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.

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



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



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



2020 Nouvelles alphathérapies ciblées au plomb 212.



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 conformatrice 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.

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

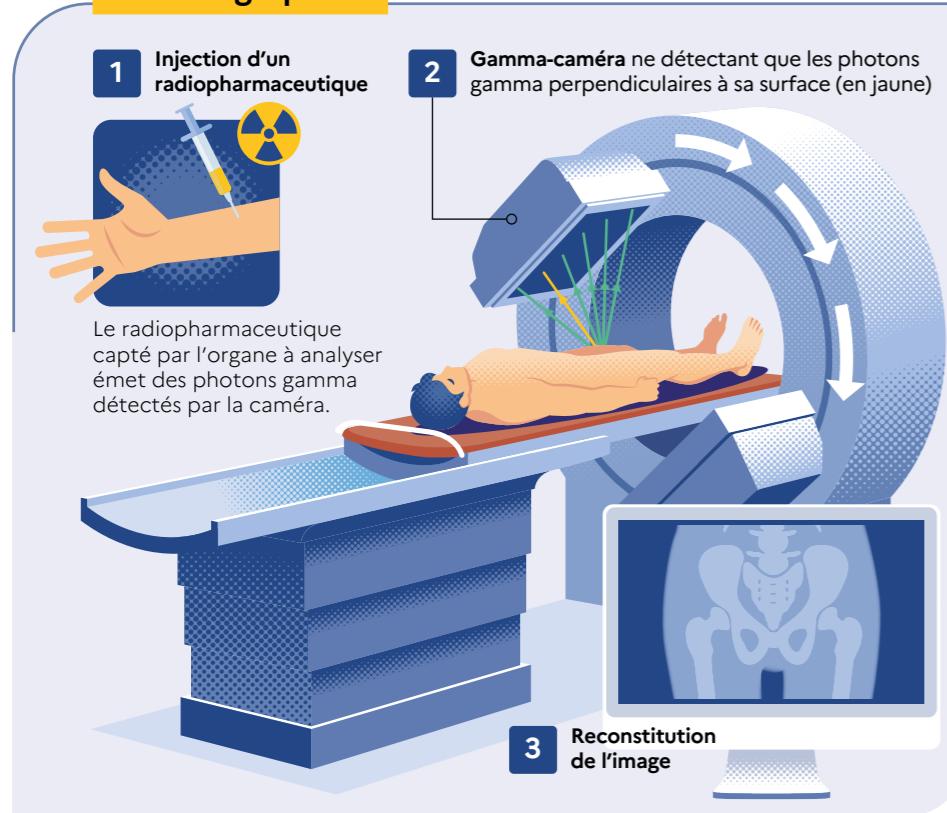
thyroïde ou du thallium 201 pour les scintigraphies du myocarde. L'association entre la tomographie par émission de positons et le scanner (TEP-scan) offre une imagerie plus performante. Le radiopharmaceutique le plus couramment utilisé en TEP est le « FDG » qui associe du fluor 18 à des molécules de 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.

La scintigraphie



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.



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 "radio-immunologiques" 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





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

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 gérions pas en décroissance sont pris en charge par les centres de stockage en surface de l'Andra », souligne-t-elle.

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.

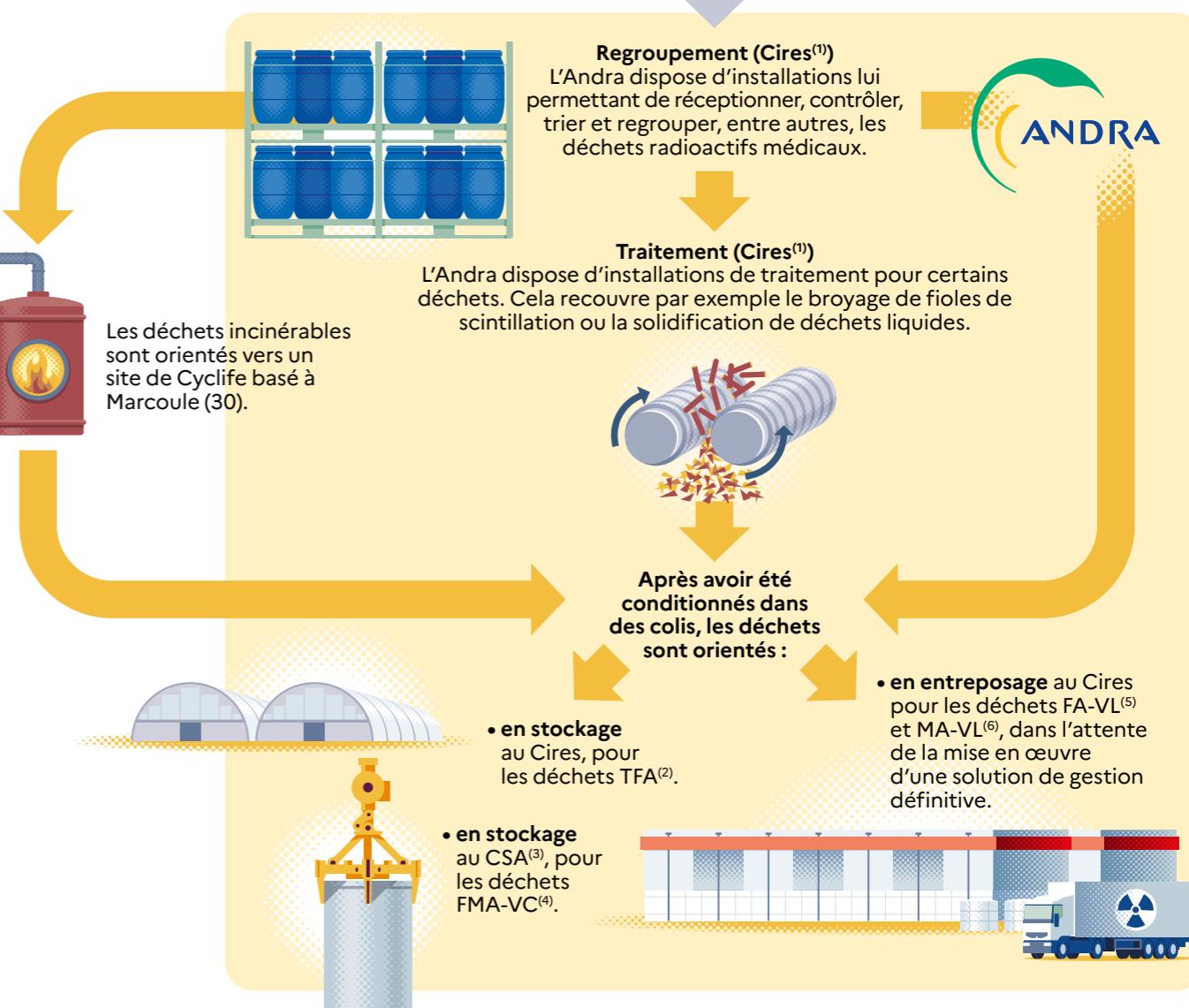
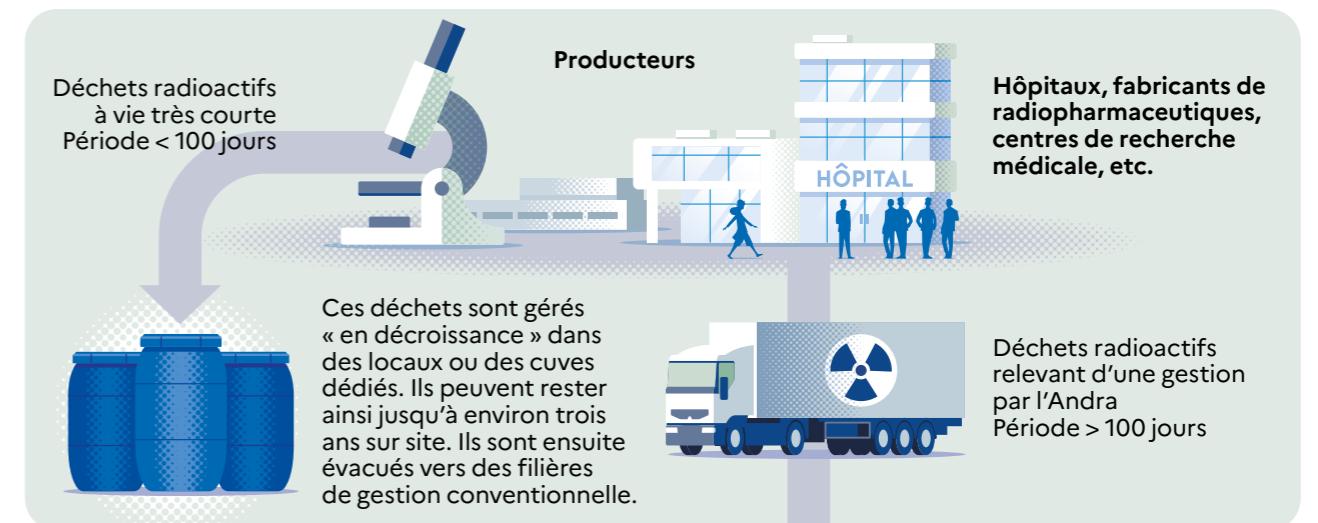


12 millisieverts
Exposition due à un scanner abdominal.



Préparation de radiopharmaceutiques.

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)

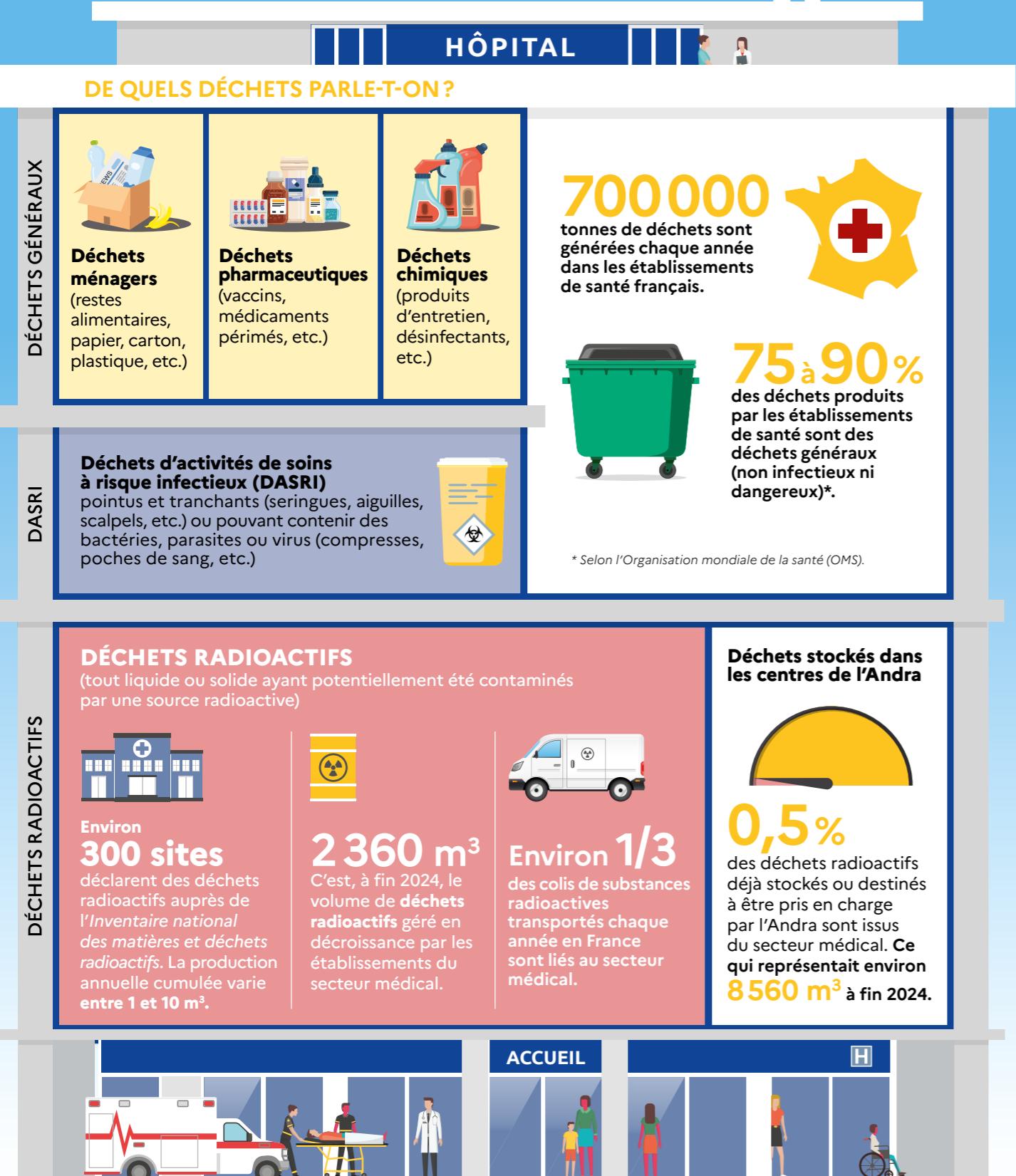
(4) Faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC)

(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...



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 décrue 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

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

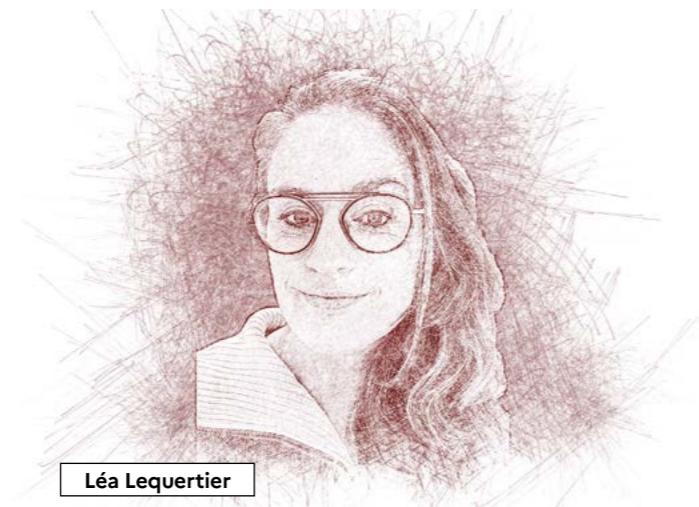
Pour éviter d'exposer le personnel des stations d'épurations, les services de médecine nucléaire renseignent un outil développé par l'ASNR, appelé « CIDDRE », qui évalue l'impact des rejets d'effluents radioactifs sur les travailleurs des réseaux d'assainissement. Celui-ci doit rester inférieur à 1mSv 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

Léa Lequertier, maître d'œuvre dans l'âme

Chargée d'affaires travaux et projets au Centre de stockage de la Manche, Léa Lequertier prépare et suit tous les chantiers. Un rôle en phase avec son goût du concret et des échanges sur le terrain.



Léa Lequertier

Léa Lequertier a trouvé sa voie en deux coups de cœur. Adolescente, elle découvre un reportage sur la célèbre école Boulle de Paris, qui a formé de nombreux artisans d'art, designers et architectes. Elle apprend qu'on y enseigne l'agencement intérieur, un domaine qui l'attire... Son choix est fait. Bac en poche, elle intègre l'école pour suivre un BTS⁽¹⁾ Agencement de l'environnement architectural. Plus tard, étudiante en gestion de projets de construction à l'université de Newcastle (Angleterre), elle effectue un stage sur le chantier de rénovation de la gare Saint-Lazare. Alterner quotidiennement entre le travail de bureau et sur le terrain est un rythme qui lui convient. « Ça a été un déclic, confie-t-elle. J'ai compris que je n'avais pas l'âme d'une créatrice et que j'étais plutôt cartésienne. Partir du projet d'un architecte et lui donner vie en affinant tous les détails techniques, c'était ce que je voulais faire ! »

Amoureuse de la presqu'île

Comment son intérêt pour la maîtrise d'œuvre l'a-t-elle conduite au Centre de stockage de la Manche ? « J'ai une deuxième passion, avoue-t-elle : la presqu'île du Cotentin, où j'ai grandi et où résident ceux que j'aime. Je n'imaginais pas vivre ailleurs ! » Ses études terminées, Léa rejoint en 2013 les services techniques de la Ville de Cherbourg. Pendant huit ans, elle pilote des dizaines de chantiers, petits et grands, sur les bâtiments communaux. En 2021, elle découvre le monde du nucléaire en intégrant l'usine Orano de La Hague. Là, elle réalise des investigations qui serviront à l'élaboration des scénarios de démantèlement des installations anciennes de l'usine.



Je prends du plaisir à rechercher des solutions avec les experts de l'Andra et les entreprises locales. »

Forte de cette expérience, elle candidate à l'Andra où elle est recrutée en janvier 2025. Les chantiers dont elle a la responsabilité sont très diversifiés : remplacement des portes et des systèmes d'éclairage des galeries souterraines de surveillance, réfection du réseau séparatif gravitaire enterré (RSGE)⁽²⁾, rénovation des clôtures extérieures... « L'organisation des chantiers, la mise en œuvre des dispositifs de protection et de contrôle des intervenants sont différents du site nucléarisé voisin d'Orano. Mais la rigueur et la transparence sont essentielles ! C'est rassurant, à la fois sur le plan professionnel et en tant que riveraine amoureuse de sa région. »

Travail d'équipe

Au Centre de stockage de la Manche, chaque chantier est unique et Léa avoue prendre le même plaisir qu'à ses débuts. Rechercher des solutions avec les experts de l'Andra et les entreprises locales est ce qui l'anime. Elle aime aussi travailler en équipe restreinte ; de fait, le site compte 12 personnes au total, dont trois au pôle Travaux. « Je peux parler à mes responsables dès que j'en ai besoin, l'ambiance est conviviale et j'ai trouvé le bon équilibre entre vie personnelle et professionnelle. Ici, je me projette sereinement vers l'avenir ! »

(1) Brevet de technicien supérieur. Diplôme national d'Etat de niveau bac+2.

(2) Le RSGE permet la surveillance et la collecte des éventuelles eaux d'infiltration provenant des ouvrages de stockage.



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 ? ».



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. ●

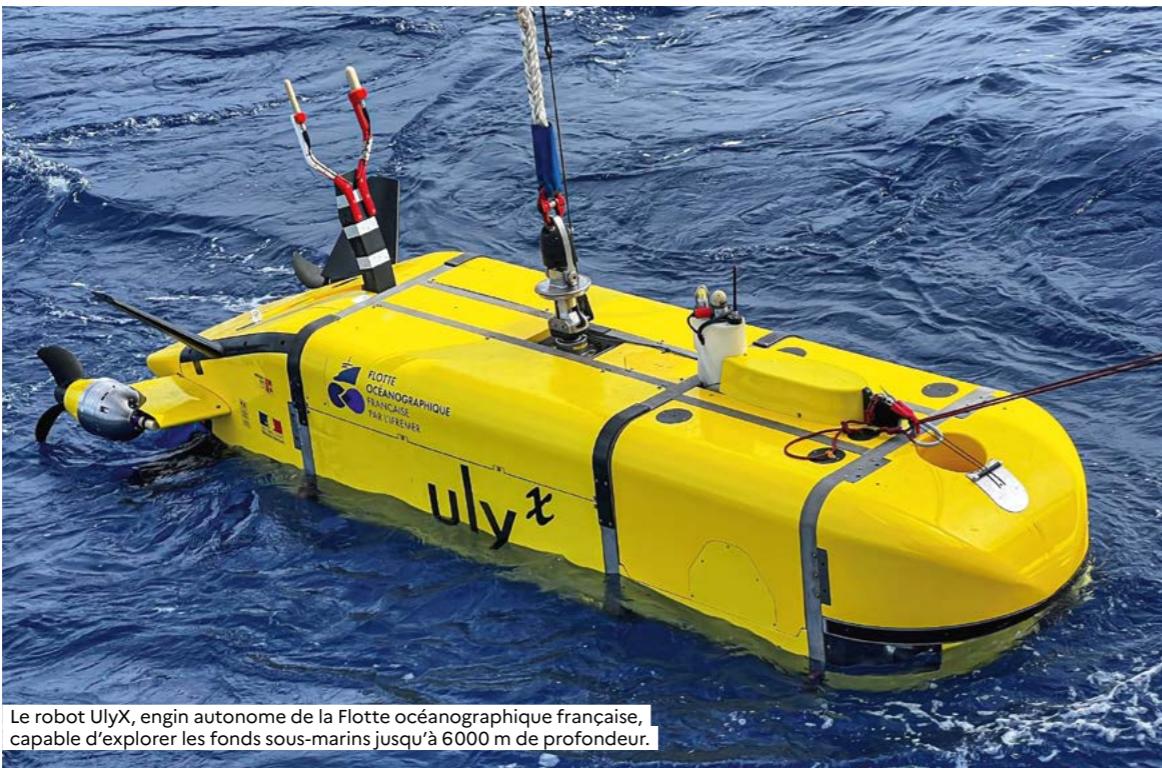
UN « PASSEUR » DE SCIENCES

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.

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

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 immersés dans les années 1960 et à mesurer leur impact sur l'environnement.



Un peu d'histoire

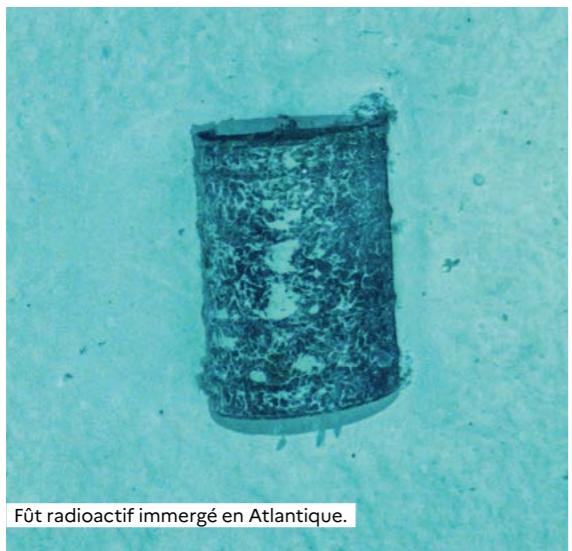
Entre 1949 et 1982, plus de 200 000 fûts contenant des déchets faiblement radioactifs ont été immersés sur différents

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.

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 immersés entre 1971 et 1982 à près de 4 700 mètres de profondeur, à un millier de kilomètres au large de la Bretagne. Équipé du robot autonome UlyX, capable de plonger à plus de 6 000 mètres, le navire a sondé une zone de 163 km², recensant 3 350 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 immersés

Si l'Andra ne participe pas aux expéditions de surveillance, elle joue un rôle clé dans la diffusion des informations sur ces déchets immersés, 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 45 000 fûts lors de deux campagnes menées en 1967 et 1969, soit environ 14 000 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 1 000 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 1^{re} campagne

2026

Mission Nodssum 2^{re} campagne

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).

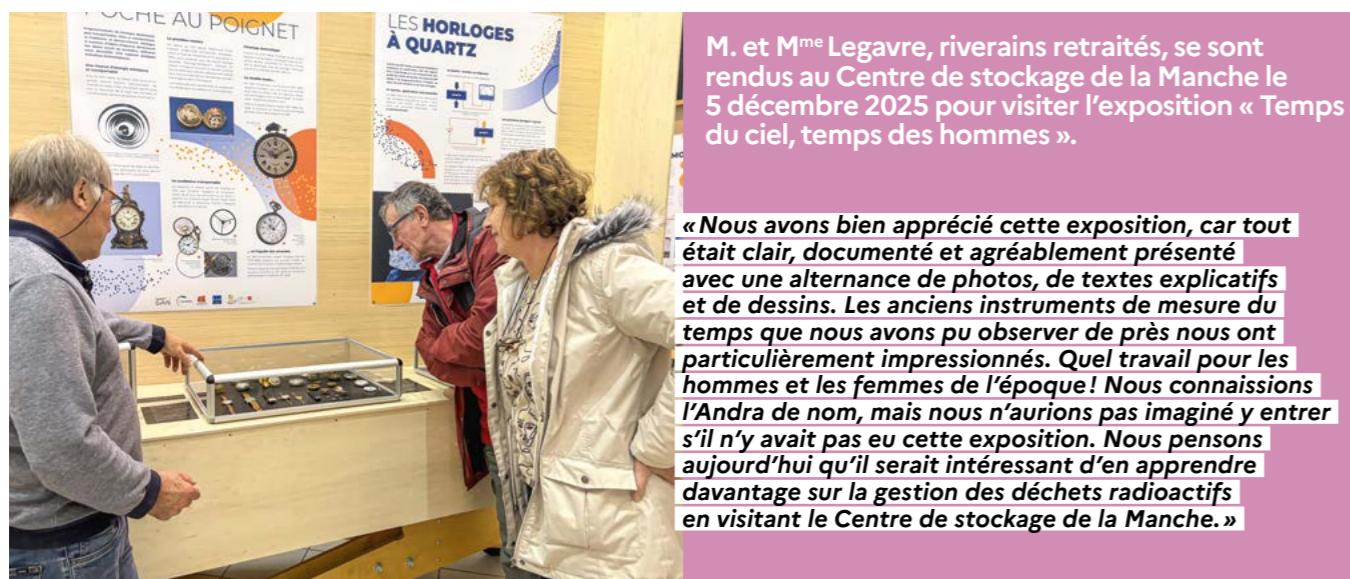
Les déchets MA-VL et HA sont prévus pour être stockés dans Cigéo.



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



#ILS SONT VENUS NOUS VOIR



Vous aussi, vous souhaitez mieux comprendre la gestion des déchets radioactifs ?
 Contactez-nous au **02 33 01 69 13** ou par e-mail à marie-pierre.germain@andra.fr



À votre avis que représente cette image ?

Il s'agit d'un ancien système de détection de franchissement de zone.



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Partez à la découverte de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) pour comprendre comment la surveillance du site et la transmission de la mémoire aux générations futures sont effectuées.



PLUSIEURS FORMULES DE VISITES SONT PROPOSÉES.

Renseignements au 08 10 12 01 72 et sur manche.andra.fr