

PRINTEMPS 2022 N°41

le Journal de l'Andra

— ÉDITION MANCHE



P.10

**Médecine
et radioactivité:**
tout ce qu'il faut savoir

Sommaire

l'essentiel

- P.4** Podcast « Radio-Actif » : nouveaux épisodes à découvrir!
- P.4** *Le Journal de l'Andra*: votre avis nous intéresse



- P.4** **danslesmédias**
Un objet radioactif dans votre grenier?

- P.5** Groupes mémoire: 10 ans de travaux!
- P.5** L'aventure se poursuit avec « Les Voiles écarlates »
- P.5** La Suède autorise la construction du stockage géologique des déchets les plus radioactifs



- P.6** Réexamen de sûreté du Centre de stockage de la Manche: l'instruction touche à sa fin

éclairage

- P.7** L'Andra et ses prestataires: une étroite collaboration pour un travail de qualité
- P.8** Au Centre de stockage de la Manche, une gestion des eaux rigoureuse
- P.9** Comment fonctionne le réseau de collecte du Centre ?



P.10 Dossier

Médecine et radioactivité: tout ce qu'il faut savoir

- P.12** Des rayons pour diagnostiquer et soigner: un siècle d'histoire
- P.14** Ces scientifiques à l'origine de la médecine nucléaire
- P.15** Médecine et radioactivité: de quoi parle-t-on?
- P.16** Les différents types de radiothérapie pour le traitement des cancers
- P.16** Médecine nucléaire: et demain?
- P.17** Traitement ou diagnostic: à quelles doses de rayonnement s'expose-t-on?
- P.18** Secteur médical: des déchets pas comme les autres...
- P.19** ... et une gestion sur mesure
- P. 20 Reportage:** Médecine nucléaire: dans les coulisses du Centre François Baclesse de Caen

immersion



- P.22** **Chantier**
À Ganagobie, plus qu'un chantier d'assainissement, un travail d'enquête
- P.24** **Portrait**
Vincent Lelaidier, l'expert technique du CSM

territoire



- P.25** Des fleurs à la loupe
- P.26** **#On vous répond**
Les déchets radioactifs d'un EPR sont-ils différents des autres déchets?
- P.26** **#Ils sont venus nous voir**
- P.27** **Photomystère**

le
Journal
del'Andra

Édition de la Manche N°41

Centre de stockage de la Manche
ZI de Digulleville - BP 807 - DIGULLEVILLE - 50440 LA HAGUE
Tél. : 0 810 120 172 - journal - andra@andra.fr



Directeur de la publication : Pierre-Marie Abadie • Directrice de la rédaction : Annabelle Quenet • Rédactrice en chef : Marie-Pierre Germain • Comité éditorial : Isabelle Deniau, Catherine Dressayre, Florence Espiet, Isabelle Guittonneau, Vincent Lelaidier, Guy-Roland Raparumbya, Julien Recarte • Ont participé à la rédaction, pour l'Andra: Marie-Pierre Germain, Antoine Billat, Anne Brodu, Sophie Dubois; pour Rouge Vif: Françoise de Blomac, Fanny Costes, Emmanuelle Crédoz, Joana Maître, Véronique Parasote et Pascal de Rauglaudre • Responsable iconographie: Sophie Muzerelle • Crédits photos: Andra; CEA; Adrien Daste; Centre François Baclesse; Philippe Demail/Andra; Domaine public; EDF Médiathèque - Alexis Morin et Antoine Soubigou - Pôle communication - EDF Flamanville 3; Marie-Pierre Germain/Andra; Jean-Marie Huron; Stephen Mahar/AdobeStock; Patrice Maurein; Museum d'histoire naturelle; Alex Tihonov/Fotolia; Wikipédia; Michael Zurnstein/CEI public • Dessins: Aster et Rouge Vif • Infographie: Rouge Vif • Création-réalisation: www.grouperougevif.fr - ROUGE VIF éditorial - 27709 - www.grouperougevif.fr • Impression: DILA - Siret 130 009 186 00011 - Imprimé sur du papier issu de forêts durablement gérées, 100 % recyclé dans une imprimerie certifiée imprim'vert. • © Andra - 370-41 • DDP/DICOM/22-0028 • ISSN: 2106-7643 • Tirage: 39 750 exemplaires

IMPRIM'VERT® PEFC 10-31-2190 / Certifié PEFC

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).

LE POINT DE VUE D'ASTER

Dépollution, l'autre mission de service public de l'Andra



L'assainissement de l'ancien laboratoire Isotopchim est l'un des chantiers les plus complexes jamais mené par l'Andra. On vous raconte, p. 22.



1 352

C'est le nombre de personnes accueillies au Centre de stockage de la Manche en 2021.

Une fréquentation croissante malgré une année encore marquée par la crise sanitaire.

Podcast « Radio-Actif » : nouveaux épisodes à découvrir !



Fin 2021 l'Andra a lancé son podcast « Radio-Actif » afin de susciter l'intérêt d'un large public, notamment les jeunes générations,

pour la gestion des déchets radioactifs. En partenariat avec le média *Le Drenche*, une première série intitulée « Demain, dans 1 000 ans », explore la question de la mémoire des centres de stockage et notre rapport au temps long. Sémiologie sonore, archives, analogues mémoriels, support de stockage de l'information... L'Andra, en compagnie d'experts pluridisciplinaires de la mémoire et de sa conservation, font le tour de la question. À vos écouteurs !

Série de **6 épisodes** disponibles sur la plateforme Ausha, sur le mur des podcasts de *Ouest France*, ainsi que sur la chaîne YouTube de l'Andra (Playlists/ Podcasts).



Retrouvez tous les épisodes du podcast « Radio-Actif »
<https://bit.ly/3M8xdVk>



Le Journal de l'Andra : votre avis nous intéresse !

Parce qu'elle s'occupe d'un sujet de société majeur, l'Andra a aussi pour mission de vous informer. Pour cela, elle met notamment à votre disposition le journal que vous tenez entre les mains. Son but ? Contribuer à vous apporter une information pédagogique, diversifiée et accessible. Votre journal est-il suffisamment clair et illustré ? Les articles vous intéressent-ils ? Quels sujets devrions-nous davantage aborder ? Jusqu'au 30 juin, l'Andra vous propose de répondre à une enquête de lectorat. Pour que *Le Journal de l'Andra* réponde à vos attentes et que nous puissions l'améliorer selon vos besoins... dites-nous tout !



✓ Pour participer : remplissez le questionnaire joint à ce numéro ou scannez le QR code.



dans les médias



Un objet radioactif dans votre grenier ?

Ils sont anciens, parfois décoratifs et on n'hésite pas à les conserver en souvenirs, dans son grenier ou sa cave. Mais ils peuvent être radioactifs ! Un exemple : les fontaines à radium, à la mode dans les années 1920. En ce temps-là, on prêtait au radium des vertus curatives et il entraînait dans la composition d'objets du quotidien. Aujourd'hui, les équipes de l'Andra collectent gratuitement ces objets anciens pour les gérer en toute sécurité. Dans le cadre d'un partenariat avec le musée Curie, une fontaine au radium à forte valeur historique a pu être décontaminée afin que cet objet soit exposé au musée, à Paris.



Découvrez en images cette intervention avec le reportage de TF1 : <https://bit.ly/3Klxl3>





Groupes mémoire: 10 ans de travaux!

Comment préserver la mémoire des sites de stockage de déchets radioactifs à travers le temps? Les groupes de réflexion sur la mémoire des centres de l'Andra travaillent sur cette question majeure depuis 2011. Réunis à l'occasion de cet anniversaire, ils ont partagé leurs idées et leurs projets.

Riverains, élus locaux, anciens salariés de l'industrie nucléaire, acteurs de la vie associative, ils habitent dans la Manche, en Meuse/Haute-Marne, dans l'Aube. Aux côtés de l'Andra, ils réfléchissent à des pistes originales et innovantes afin de maintenir le plus longtemps possible la mémoire des centres de stockage.

Des solutions créatives et innovantes

Leurs réalisations font appel à différentes ressources culturelles, artistiques ou ludiques: bande dessinée de science-fiction, tableau collectif « Devoir de mémoire », saynètes théâtrales ou escape box. Au CSM, des visites théâtralisées sur l'histoire du site ont été créées à l'occasion du 50^e anniversaire du centre en 2019. Le groupe a également travaillé sur une collecte d'anciens articles de presse sur la création du Centre, ainsi que sur une ultra-synthèse des informations essentielles concernant le site, document destiné à être diffusé largement autour du Centre, mais aussi à l'international.

Début décembre, les groupes Mémoire ont célébré l'anniversaire des 10 ans de leur création, en Bourgogne. Au programme notamment: la visite du MuséoParc d'Alésia et une conférence sur la mémoire et les traces, animée par une archéologue et une socio-anthropologue. De quoi nourrir leur réflexion et susciter de nouveaux projets!



La question de la conservation et de la transmission de la mémoire du Centre de stockage de la Manche vous intéresse?

Vous souhaitez rejoindre le groupe mémoire de l'Andra? Contact: **08 10 120 172**

L'aventure se poursuit avec « Les Voiles écarlates »

Le 9 février dernier, l'Andra a signé une nouvelle convention de parrainage avec l'Association « Les Voiles écarlates » de Cherbourg pour soutenir son projet de préservation du patrimoine local et de réinsertion de publics en difficulté.

Un projet parrainé par l'Andra depuis maintenant huit ans et qui s'inscrit pleinement dans la démarche de transmission de la mémoire et de responsabilité sociétale de l'Agence.

Cette nouvelle convention permettra à l'association de poursuivre la restauration du vieux gréement la Croix du Sud III démarrée en 2014 et d'embarquer à son bord des personnes en difficulté ou fragilisées: mineurs délinquants, personnes atteintes de maladies psychiatriques ou résidents de maisons de retraite locales. Objectif: retrouver confiance en vivant des aventures au grand large!

Différentes actions entre « Les Voiles écarlates » et l'Andra sont programmées pour cette année: l'organisation d'une conférence à Cherbourg sur une thématique en lien avec la réinsertion et la mise en place de visites du Centre de stockage de la Manche pour des jeunes en difficulté dans le cadre de l'opération « Port propre, mains propres ».



La Suède autorise la construction du stockage géologique des déchets les plus radioactifs

Le 27 janvier 2022, le gouvernement suédois a autorisé la construction d'un stockage géologique pour accueillir les combustibles usés du pays. Avec sa voisine la Finlande, la Suède est un des pays les plus avancés dans leur projet de centre de stockage géologique pour les déchets les plus radioactifs issus des centrales*. C'est au nord de Stockholm, à Forsmark (municipalité d'Östhammar), que l'installation de stockage sera implantée. Conduit par la société SKB détenue par les exploitants nucléaires, ce projet

a abouti après 30 ans de recherches et une demande d'autorisation déposée dès 2011. Placés dans des conteneurs en cuivre, les combustibles usés seront stockés à 500 mètres de profondeur dans une roche granitique. La construction, le fonctionnement et la fermeture du site s'étaleront sur environ 70 ans.

* La Finlande a opté pour les mêmes procédés de stockage et autorisé la construction d'une installation en couche profonde en 2016. Une demande d'autorisation d'exploitation a été déposée fin décembre 2021.



Vue du nord du Centre de stockage de la Manche.

Réexamen de sûreté du Centre de stockage de la Manche: l'instruction touche à sa fin

En février dernier, l'Autorité de sûreté nucléaire, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire et « le groupe permanent déchets » (GP) se sont réunis pour l'évaluation du dossier de réexamen de sûreté du CSM. L'aboutissement de deux années d'instruction. Explications.

En avril 2019, l'Andra a remis à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), le dossier de réexamen de sûreté du CSM. Un document de près de 1 000 pages, fruit d'un travail de longue haleine qui mobilise les équipes de l'Andra depuis 2016: « *Tous les dix ans, le réexamen de sûreté vise à réévaluer la conformité du Centre et sa sûreté actuelle sur le long terme* », expliquent Catherine Dressayre et Fabrice Poirier, ingénieurs sûreté à l'Andra. Pour rappel, l'ASN instruit le dossier et dans ce cadre, elle missionne

l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). La phase d'instruction technique du dossier menée par l'IRSN aura duré deux ans et suscité près de 450 questions: « *L'instruction est une période d'échanges intenses. Nous devons apporter un maximum de précisions à l'IRSN afin qu'il puisse établir son rapport d'expertise remis ensuite au GP* », complète Fabrice Poirier. Cette phase très exigeante s'est clôturée le 1^{er} février dernier par une réunion officielle du GP en présence de l'ASN, de l'IRSN et de l'Andra. Le GP est composé notamment de producteurs de déchets, d'experts universitaires et de représentants d'associations.

Un retour positif

Le centre de stockage est-il toujours adapté et conforme à la réglementation en vigueur? Comment les installations se comporteraient-elles dans

telle ou telle situation donnée? « *Il n'y a pas eu de point d'achoppement particulier entre nos propositions et les recommandations de l'IRSN. Le retour des experts du GP a été globalement positif* », précise Catherine Dressayre. En attendant la décision de l'ASN qui viendra encadrer par des prescriptions la poursuite de fonctionnement de l'installation, l'Agence travaille à la prise en compte des 28 engagements pris pour améliorer la sûreté du centre. Ceux-ci concernent le confortement de la couverture du stockage, la surveillance du centre, et aussi la sûreté à long terme et le dispositif lié à la conservation de sa mémoire ou encore la mise à jour des documents réglementaires. « *Nous travaillons à la préparation des plans d'action afin de les mener à bien les dix prochaines années* », conclut Fabrice Poirier. ●

L'instruction du dossier de réexamen de sûreté, c'est:

450
questions posées par l'IRSN

28
engagements pris par l'Andra

“
Il n'y a pas eu de point d'achoppement particulier entre nos propositions et les recommandations de l'IRSN. Le retour des experts a été globalement positif.”

L'Andra et ses prestataires: une étroite collaboration pour un travail de qualité

Analyses environnementales, nettoyage, entretien paysager, etc. : une vingtaine d'entreprises prestataires travaillent aux côtés de l'Andra au Centre de stockage de la Manche.

Pour s'assurer de la qualité des prestations réalisées, l'Agence procède à des contrôles réguliers. Exemple, avec le laboratoire d'analyses Subatech.

Si le Centre de stockage de la Manche ne reçoit plus de colis de déchets radioactifs, les équipes de l'Andra poursuivent leurs activités d'entretien et de maintenance des installations, mais aussi de surveillance de l'environnement. Au total, une vingtaine de sociétés effectuent différentes prestations, qui vont du prélèvement d'échantillons au nettoyage des locaux, en passant par le gardiennage et l'entretien paysager du site. Autant d'activités qui sont encadrées par des cahiers des charges précis dans lesquels l'Andra spécifie ses exigences.

Des experts dédiés

« C'est un choix stratégique, explique Julien Recarte, chef de centre du CSM. Avec dix collaborateurs sur le site, l'Andra n'a ni les ressources humaines ni le matériel pour assurer l'ensemble de l'exploitation de ses installations. Elle fait donc appel à des experts extérieurs qui viennent avec leurs équipements et forment leur personnel. »

Exemple: le laboratoire Subatech réalise une partie des mesures entrant dans le cadre de la surveillance du CSM. Sa mission consiste à effectuer chaque année une partie des 2000 prélèvements et 10 000 analyses de l'eau, du sol et de l'air. Objectif : s'assurer que l'impact du centre sur l'environnement se maintient à un niveau très faible.



Échantillons d'eau de la nappe phréatique.

Pour cela, Subatech prend en charge les analyses radiologiques d'échantillons d'eau, de sol et d'air prélevés sur le site. Si cette mission très importante nécessite les compétences et les moyens matériels et logistiques d'un expert dédié, elle demeure étroitement encadrée par l'Andra.

Des contrôles réguliers pour vérifier la qualité des prestations

Aussi, pour s'assurer de la qualité des prestations, l'Agence procède chaque année à un audit de ses prestataires, comme ce fut le cas en janvier dernier pour le laboratoire Subatech. « L'auditeur externe a examiné la façon dont le laboratoire analyse les échantillons et garantit la traçabilité des mesures, et comment les résultats sont présentés dans le compte rendu, en vérifiant qu'ils satisfont aux exigences de notre cahier des charges », précise Flore Denizet, ingénieure système de management, qui a piloté l'audit pour l'Andra et s'est assurée de sa conformité avec la norme ISO 17025 (lire encadré).

En fin d'audit, l'auditeur transmet son rapport à l'Andra et une réunion de restitution est organisée

avec le prestataire pour l'informer des résultats. Si le rapport pointe des irrégularités majeures, l'Andra peut interrompre la prestation.

Pour éviter les effets de routine, l'Andra renouvelle ses contrats avec les auditeurs tous les trois ans par appel d'offres : « Les auditeurs ont des expériences différentes et ne voient pas tous la même chose », complète Flore Denizet.

L'audit n'est pas le seul moyen d'évaluer la qualité des travaux des prestataires. L'Andra organise régulièrement des réunions avec eux, et procède aussi à des inspections sur le terrain. ●

Les normes qui encadrent le système qualité de l'Andra

— Comme toutes les installations industrielles de grande ampleur, l'Andra est certifiée par des normes ISO* qui garantissent le bon déroulement des processus mis en place pour veiller à la qualité, à la performance et à la sécurité de ses activités.

L'Andra exige également de ses prestataires d'être notamment en conformité avec la norme ISO 17025 qui s'applique aux travaux de laboratoires.

* Organisation internationale de normalisation



Contrôle du volume de prélèvement des eaux

Au Centre de stockage de la Manche, une gestion des eaux rigoureuse

S'il dispose bien de toutes les autorisations, le Centre de stockage de la Manche (CSM) n'a pas les équipements nécessaires pour effectuer directement ses rejets liquides dans l'environnement. Ceux-ci transitent par le site voisin d'Orano La Hague qui prend le relais. Des opérations encadrées par une convention de plus de 25 ans. Explications.

La maîtrise du système de gestion des eaux est un enjeu important pour le CSM. Il s'agit de faire en sorte que les différentes eaux qui sont collectées sur et sous le site ne se mélangent pas, et qu'elles puissent être, après analyses, réorientées vers le milieu naturel où elles sont rejetées. Par sa configuration et son histoire, le CSM ne dispose sur son emprise que d'une partie du système de gestion des eaux, celle qui permet la collecte puis celle nécessaire aux mesures radiologiques et chimiques.

Le CSM a été implanté en 1969 sur un terrain jouxtant le site d'Orano La Hague. Les deux sites faisant alors partie d'une seule et même entité : le CEA. Le système des eaux a été conçu en conséquence, sans discontinuité entre ce qui allait devenir deux entités bien distinctes et indépendantes du CEA (Orano, alors appelé la Cogema, en

1976 et l'Andra en 1991). L'enjeu était d'assurer la continuité dans le fonctionnement du système en place, mais en précisant finement les responsabilités de chacun et le processus de passation des eaux entre les deux entités.

Une gestion des eaux différenciée

La première convention entre l'Andra et Orano La Hague (ex-Cogema) est mise en place en 1996. Elle spécifie les caractéristiques radiologiques et les limites en volumes que doivent respecter l'ensemble des effluents en provenance du CSM. Cette convention précise également la maintenance à réaliser sur le bassin d'orage de l'Andra situé sur le site d'Orano La Hague, selon les exigences de l'Agence. Des réunions et des échanges réguliers sont organisés entre l'Andra et Orano La Hague

et la convention peut être revue si nécessaire.

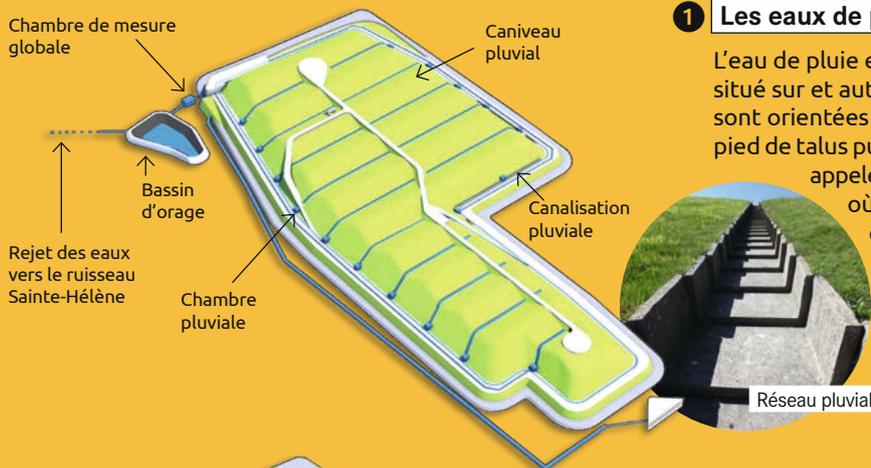
« Toutes les eaux sont transférées sur le site d'Orano La Hague, avec une gestion différenciée selon leur origine », explique Isabelle Deniau, chargée d'affaires en surveillance de l'environnement au CSM. Les eaux pluviales sont analysées à la fois sur le CSM et sur Orano La Hague avant d'être rejetées dans la Sainte-Hélène après un passage dans le bassin d'orage situé sur le site d'Orano La Hague. Pour les eaux collectées dans le réseau souterrain et qui auraient pu entrer en contact avec de la radioactivité, celles-ci sont stockées dans des cuves et ne doivent pas dépasser certains seuils pour pouvoir être transférées. Ces effluents sont ensuite rejetés en mer dans le raz Blanchard via la canalisation de rejets d'Orano La Hague. « Tout est suivi et contrôlé, nous connaissons la quantité et la qualité des effluents de nos réseaux, au niveau radiologique et physico-chimique. Les analyses menées à la fois par le CSM et Orano La Hague, permettent de sécuriser les rejets réalisés dans l'environnement », conclut Isabelle Deniau.

Comment fonctionne le réseau de collecte du Centre ?

L'ensemble des eaux qui circulent sur le CSM sont collectées et analysées avant d'être rejetées dans l'environnement

1 Les eaux de pluie

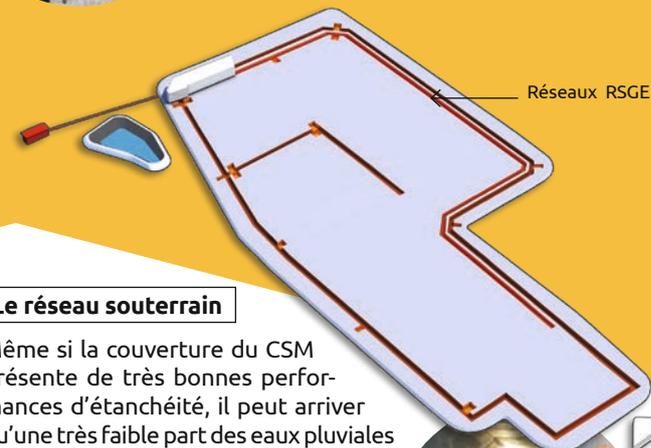
L'eau de pluie est collectée et canalisée par un réseau situé sur et autour de la couverture du CSM. Ces eaux sont orientées vers des chambres de récupération en pied de talus puis transférées vers un point de collecte appelé « chambre de mesure globale » (la CMG) où des prélèvements sont effectués. Les eaux pluviales sont ensuite évacuées vers un bassin d'orage situé sur le site voisin d'Orano La Hague avant d'être rejetées, après de nouveaux contrôles, dans le ruisseau de la Sainte-Hélène.



Réseau pluvial

3 Le réseau souterrain

Même si la couverture du CSM présente de très bonnes performances d'étanchéité, il peut arriver qu'une très faible part des eaux pluviales réussisse à parvenir jusqu'aux ouvrages de stockage. Ces eaux sont alors collectées dans un réseau souterrain ou par des drains situés à proximité des galeries de ce réseau. Les eaux sont transférées vers le bâtiment des bassins où elles transitent momentanément dans des cuves dédiées le temps de faire les prélèvements nécessaires aux analyses radiologiques. Elles rejoignent ensuite les eaux de drainage dans le BDS, qui rassemble ainsi tous les effluents dits « à risque », c'est-à-dire les eaux qui auraient pu avoir été contaminées par la radioactivité.



Réseau souterrain

2 Les eaux de drainage

De l'eau de pluie peut s'infiltrer dans la couverture. Ces eaux, appelées « eaux de drainage » sont collectées via des drains disposés dans la couverture, au-dessus et en dessous de la membrane bitumeuse. Ces eaux sont orientées vers des chambres de drainage dédiées, puis vers le bâtiment des bassins du CSM grâce à des canalisations bien distinctes de celles des eaux pluviales. Dans le bâtiment des bassins, les eaux de drainage rejoignent le bac du séparatif (le BDS) avant le transfert vers Orano la Hague.



Drains de la couverture

Des contrôles réguliers

— Des analyses sont réalisées toutes les semaines. Les résultats sont communiqués mensuellement à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et à la Dreal*. La synthèse est rendue publique dans le *Rapport d'information sur la sûreté nucléaire et la radioprotection* du centre disponible sur www.manche.andra.fr/documents-et-ressources et présentée lors des réunions de la commission locale d'information (CLI) du CSM.

Les résultats de la surveillance sont accessibles au public via le réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement sur www.mesure-radioactivite.fr.

* La direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement





Médecine et radioactivité: tout ce qu'il faut savoir

Scintigraphie, TEP scan, radiothérapie, ces termes médicaux vous évoquent sans doute quelque chose. Tous ces examens et thérapies sont couramment prescrits pour le diagnostic, le traitement et le suivi de cancers, de maladies pulmonaires ou thyroïdiennes, de troubles cardiovasculaires ou encore de rhumatismes. Mais leur principe comme leurs origines sont souvent méconnus.

Ils appartiennent au domaine de la médecine nucléaire. Une discipline née il y a plus d'un siècle, peu de temps après la découverte de la radioactivité. Car c'est bien cette radioactivité qui, bien dosée et ciblée, permet aujourd'hui des diagnostics plus précoces et des traitements plus efficaces. Et parce qu'elle manipule quotidiennement des produits radioactifs, la médecine nucléaire est très encadrée pour garantir la radioprotection des personnels de santé, des patients et de l'environnement, mais aussi assurer une gestion adaptée des déchets issus de ces activités.

P.12 Des rayons pour diagnostiquer et soigner: un siècle d'histoire

P.14 Ces scientifiques à l'origine de la médecine nucléaire

P.15 Médecine et radioactivité: de quoi parle-t-on?

P.16 Les différents types de radiothérapie pour le traitement des cancers

P.16 Médecine nucléaire: et demain?

P.17 Traitement ou diagnostic: à quelles doses de rayonnement s'expose-t-on?

P.18 Secteur médical: des déchets pas comme les autres...

P.19 ... et une gestion sur mesure

P. 20 Reportage: Médecine nucléaire: dans les coulisses du Centre François Baclesse de Caen

Des rayons pour diagnostiquer et soigner: un siècle d'histoire

Les découvertes des rayons X puis de la radioactivité à la fin du XIX^e siècle ont permis aux médecins et autres professionnels de santé d'améliorer leurs capacités de diagnostic, et de mettre au point des traitements efficaces contre des maladies graves, le cancer notamment. Retour sur les origines des activités nucléaires à finalité médicale.

Tout commence en 1895. Le physicien allemand Wilhelm Conrad Röntgen découvre les rayons X. Des rayonnements invisibles dont la propriété de traverser la matière a ensuite permis le développement de la radiologie moderne (radiographie, scanner, échographie, IRM...). Mais c'est d'abord au traitement contre le cancer que cette découverte profite. Dès 1896, des médecins ont ainsi donné naissance à la radiothérapie externe, traitement encore couramment utilisé aujourd'hui pour tuer les cellules cancéreuses avec de fortes doses de rayons ionisants.

Au même moment, Henri Becquerel découvre la radioactivité naturelle de l'uranium avant que Marie et Pierre Curie identifient celle du thorium, du polonium et du radium. En 1901, Henri Becquerel et Pierre Curie mettent en avant les actions de ce radioélément sur la peau, ouvrant alors la voie à son utilisation pour guérir des infections dermatologiques mais aussi des cancers. Rapidement, les médecins

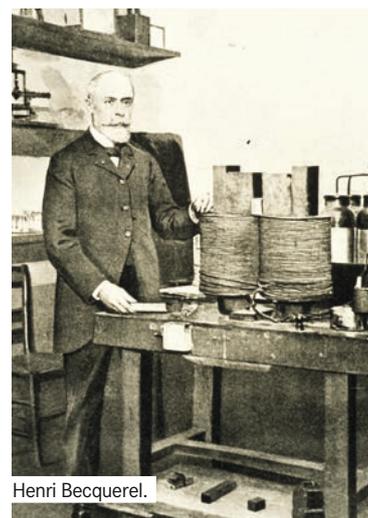
et chercheurs ont observé que le radium émettait des rayonnements de plus haute énergie que les rayons X, et permettait donc de cibler des tumeurs plus profondes. D'abord contenu dans des petits sachets en plastique et directement mis au contact de la peau pour soigner lésions et tumeurs, le radium est ensuite conditionné dans des petits tubes ou dans des aiguilles placées au contact ou implantées directement dans les tumeurs. Nous sommes en 1920: on appelle ce procédé la curiethérapie.

La découverte de la radioactivité artificielle: un tournant majeur

Le radium est un élément rare et cher. Aussi le développement de la radioactivité artificielle par Irène et Frédéric Joliot-Curie, en 1934, marque-t-elle un nouveau tournant. Petit à petit, différents radioéléments comme le césium 137, le phosphore 32, l'iridium 192 ou l'iode 125 sont produits pour créer des traitements moins onéreux et surtout plus ciblés et efficaces.

De plus, ce développement signe le début de grands progrès pour le diagnostic de cancers, de maladies cardiaques ou thyroïdiennes. Grâce aux rayons (alpha, bêta, ou gamma) qu'émettent certains de ces atomes (on parle d'isotopes radioactifs) durant leur rapide désintégration radioactive, on peut en effet les tracer dans le corps et en faire de puissants outils de diagnostic. C'est ainsi qu'est née l'imagerie fonctionnelle.

Dès 1937, dans une série d'articles, le professeur américain en physique médicale Joseph Gilbert Hamilton a détaillé les premiers essais médicaux utilisant du



Henri Becquerel.



1895

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

Le Français Henri Becquerel découvre la radioactivité naturelle en remarquant que l'uranium émet des rayonnements invisibles.

1896



1898

Pierre et Marie Curie isolent le polonium et le radium, deux éléments radioactifs jusqu'alors inconnus, présents dans le minerai d'uranium.

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

1901



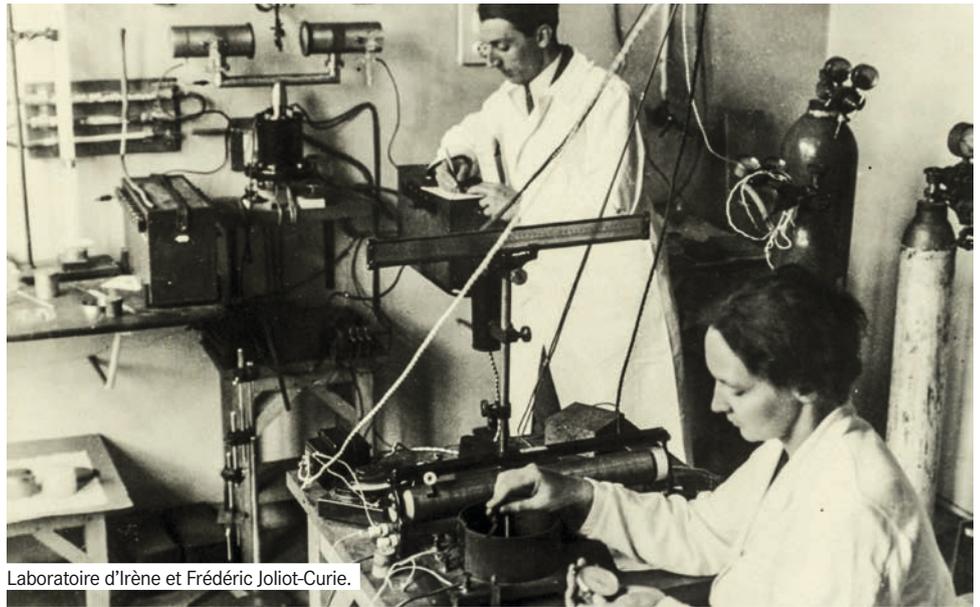
sodium radioactif comme traceur pour détecter les troubles thyroïdiens, puis ceux d'autres isotopes radioactifs comme le potassium et l'iode. Ce dernier s'est avéré très efficace pour détecter les maladies de la thyroïde mais aussi les traiter par radiothérapie *in vivo* (dans l'organisme vivant).

Par la suite, la découverte du technétium faite par Emilio Segré en 1937 contribua également à l'important développement de l'imagerie fonctionnelle. Il est aujourd'hui l'un des isotopes les plus utilisés en imagerie fonctionnelle car il n'émet que des rayons gamma, lesquels sont aisément détectables tout en irradiant faiblement le corps.

Efficacité et risques: le rôle central des technologies

Néanmoins, pour détecter et analyser les rayons émis sur une zone donnée, il a fallu mettre au point des appareils spécifiques. Assez rudimentaires et lourds, les premiers systèmes utilisés dans les années 1940 ont laissé place, à partir de 1956, à l'invention du physicien américain Hal Anger: une caméra dotée d'un cristal scintillant permettant de transformer les photons gamma issus du corps en lumière. C'est la raison pour laquelle aujourd'hui on parle de scintigraphie.

Puis au cours des années 1960 et 1970, l'imagerie fonctionnelle comme la radiologie ont progressé grâce à des techniques nouvelles,

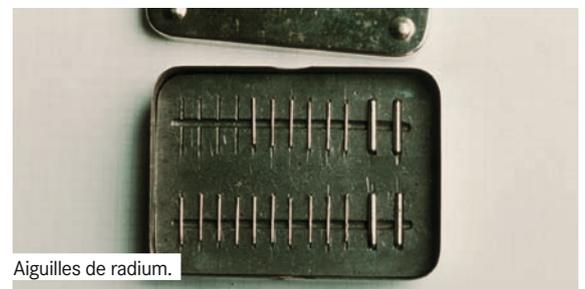


Laboratoire d'Irène et Frédéric Joliot-Curie.

comme l'invention du scanner en 1970 par l'ingénieur anglais Geoffrey Hounsfield, qui utilise des rayons X produits à partir de générateurs électriques.

Du côté des traitements par rayonnement, là encore les chercheurs ont continué de progresser pour mieux irradier les tumeurs tout en limitant l'atteinte des tissus sains. Aux radiothérapies à base de rayons X ou de radium succèdent, en 1955, les sources au cobalt, dont les rayons plus puissants pénètrent mieux les tissus. Une invention qui, à son tour, a laissé place à une technologie plus performante à la fin des années 1960: l'accélérateur de particules. Ainsi, les recherches scientifiques associées aux rayonnements et à la

radioactivité ont-elles toujours été en lien avec les progrès de la médecine. Avec une attention historique et continue pour réduire les impacts négatifs d'exposition, la médecine nucléaire au sens large a contribué et contribue à l'amélioration des diagnostics, ainsi qu'au traitement, voire à la guérison, de nombreux cancers et maladies.



Aiguilles de radium.



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

1934



Invention de la caméra à scintillation appelée gamma-caméra.

1956

1971
La médecine nucléaire est reconnue comme une spécialité médicale par l'American Medical Association.

1913

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



1937

J.-G. Hamilton effectue la première utilisation clinique du sodium radioactif comme traceur dans le but de diagnostiquer les troubles thyroïdiens. Puis en 1942, les premières applications thérapeutiques de l'iode 131 et du phosphore 32.



Ces scientifiques à l'origine de la médecine nucléaire

De nombreux physiciens, chimistes, ingénieurs et médecins ont contribué à l'émergence puis au développement des médicaments et techniques utilisées pour diagnostiquer et soigner en utilisant les propriétés de la radioactivité.



Emilio Segré

Originaire d'Italie où il étudie et enseigne la physique nucléaire, puis naturalisé Américain en 1944, Emilio Segré est réputé dans le secteur médical et de la recherche pour **avoir découvert le technétium**. Un élément chimique qui n'apparaissait pas dans le tableau de Mendeleïev en 1937 et qui, depuis, s'est pourtant imposé dans le quotidien des praticiens de la médecine nucléaire. Son isotope ^{99m} est ainsi utilisé dans 75 % des examens scintigraphiques aujourd'hui pratiqués dans le monde.



Irène et Frédéric Joliot-Curie

Sur la voie de ses parents Marie et Pierre Curie, Irène Joliot-Curie a marqué l'histoire de la radioactivité, et en particulier celle de la médecine nucléaire. Avec son mari Frédéric, ils ont ainsi contribué à développer les usages de la radioactivité artificielle. Autrement dit, ils ont démontré qu'on pouvait fabriquer des éléments radioactifs. Ils ont développé les applications concrètes de cette découverte, dans le domaine médical en particulier. Ainsi il est devenu possible de fabriquer des traceurs ou marqueurs radioactifs pour aller explorer *in vivo* le fonctionnement des cellules et organes, et détecter des anomalies comme des cancers. Pour cette découverte ils ont d'ailleurs reçu **le prix Nobel de chimie en 1935**.



Hal Anger

Dans la pratique et la diffusion de la médecine nucléaire, le cyclotron, qui produit des radionucléides capables de tracer et détruire les tumeurs, a été une première grande révolution technique. **La gamma-caméra, capable de mettre en images les parties du corps humain** où des radionucléides émettant des rayons gamma ont été injectés, a constitué une deuxième révolution. Cette invention, on la doit à Hal Oscar Anger, un ingénieur américain et biophysicien ayant énormément collaboré, au sein de l'université de Californie, avec Ernest Orlando Lawrence, l'inventeur du cyclotron.



Ernest Orlando Lawrence

Physicien américain né en 1901, Ernest Orlando Lawrence est particulièrement reconnu pour l'invention du cyclotron. Un instrument dont l'immense utilité médicale lui a valu de recevoir **le prix Nobel de physique en 1939**. Car le cyclotron permet d'accélérer les particules pour justement créer des isotopes radioactifs, aussi appelés radionucléides. Aujourd'hui, si son invention a bénéficié d'améliorations continues, elle est toujours utilisée dans les structures de santé et de recherche.

Le saviez-vous?



Des pacemakers à pile nucléaire

— À partir de 1970 et jusqu'à la fin des années 1980, quelque 3 000 stimulateurs cardiaques au plutonium 238 ont été implantés dans le monde, dont 872 en France. Ce type de stimulateur utilisait en effet l'énergie thermique libérée par les rayonnements alpha du plutonium lors de sa désintégration, laquelle était ensuite transformée en électricité. Évidemment le plutonium 238 était enfermé dans un boîtier à plusieurs couches métalliques afin de protéger le patient des rayonnements. Les pacemakers au plutonium 238 ont été abandonnés au profit des pacemakers à pile iode/lithium tout aussi robustes sur la durée, mais sans risque d'irradiation en cas de défaillance du boîtier hermétique. Toutefois, ces pacemakers fonctionnent encore chez certains patients. Les personnes implantées « types » avaient en effet 75 ans en 2010 et les plus jeunes à peine 40 ans. Au décès des patients, les pacemakers sont retirés et renvoyés aux fabricants pour pouvoir être évacués vers les bonnes filières de gestion.

Médecine et radioactivité : de quoi parle-t-on ?

Quels éléments radioactifs la médecine nucléaire emploie-t-elle ? Pour quelles applications est-ce utile et avec quels instruments ? On fait le point.

Comment définir la médecine nucléaire ? Comme l'explique le professeur Jean-Philippe Vuillez du CHU de Grenoble, dans l'émission « À l'Andra, à l'envers, les sciences en perspectives » diffusée sur Troyes Aube Radio¹, « la médecine nucléaire consiste à injecter des produits radioactifs aux patients que nous prenons en charge dans un but diagnostique ou thérapeutique ».

Premier usage : diagnostiquer avec précision

Les techniques de diagnostic en médecine nucléaire ne montrent pas l'anatomie comme une radio ou un scanner. Il s'agit d'une imagerie fonctionnelle : « Elle montre vraiment la biologie à l'œuvre dans les cellules », ajoute Jean-Philippe Vuillez.

L'imagerie anatomique (ou morphologique) comme l'imagerie fonctionnelle s'appuient sur des rayonnements ionisants pour « mettre en lumière » un trouble ou un dysfonctionnement. Ils ont en effet la capacité de traverser la matière. Les rayonnements utilisés pour le diagnostic sont les **rayons X et gamma**.

Mais les rayons X émis lorsqu'on passe une radio ou un scanner ne sont pas dus à la radioactivité. Ils sont produits par des générateurs électriques. Une fois ces générateurs éteints, les rayonnements cessent, contrairement à la radioactivité qui peut avoir une durée de vie plus ou moins longue en fonction de l'élément concerné.

La médecine nucléaire à proprement parler utilise, elle, des **radioisotopes ou radionucléides**. « Ils sont radioactifs pour être détectables », précise encore Jean-Philippe Vuillez. Selon les propriétés de tel ou



Appareil d'imagerie médicale de type TEP scan (tomographie par émission de positons).

tel produit, il va s'accumuler dans tel ou tel organe et nous apporter des informations sur les mécanismes physiopathologiques, c'est-à-dire ce qui explique qu'une maladie donne tel et tel symptôme et ce qui permettra ensuite de la soigner. »

C'est la base de l'imagerie en médecine nucléaire : **la scintigraphie**. Et c'est la plus ancienne. Elle consiste à administrer au patient une petite quantité de substance radioactive appelée **médicament radiopharmaceutique** (MRP) par voie intraveineuse, par inhalation ou par ingestion. Cette substance est choisie en fonction de l'organe ou du tissu à observer sur lequel elle va se fixer. Et ses rayonnements sont détectés à l'aide d'un système d'imagerie appelé gamma-caméra. Selon l'organe et la pathologie, le tissu malade apparaîtra alors à l'écran comme une zone chaude par rapport au tissu sain ou, à l'inverse comme une zone froide. On peut faire des scintigraphies osseuses, des scintigraphies thyroïdiennes, des scintigraphies pulmonaires...

Autre technique de la médecine nucléaire diagnostique, plus récente, la tomographie par émission de positons (TEP) est aussi

une scintigraphie, mais elle permet de localiser plus finement la zone d'émission et permet un dépistage précoce des cancers ou le diagnostic de maladies dégénératives comme la maladie d'Alzheimer.

Deuxième usage : irradier pour détruire les cellules malades

Outre son utilité dans le diagnostic, la radioactivité a également largement prouvé son efficacité dans le traitement de maladies graves, de cancers notamment. Son principe : irradier des cellules cancéreuses pour altérer leur ADN, les empêcher de se multiplier, et finalement les détruire.

La **radiothérapie interne** consiste, comme son nom l'indique, à injecter des sources radioactives dans le corps via une injection de médicaments radiopharmaceutiques spécifiques : on parle alors de **radiothérapie métabolique**.

Et la recherche se poursuit en médecine nucléaire. De nouveaux radionucléides sont ainsi élaborés pour diagnostiquer toujours plus précocement, suivre plus précisément les traitements et cibler plus efficacement les cellules cancéreuses.

¹ Première diffusion le mardi 22 juin 2021, disponible en replay sur Troyes Aube Radio



<https://bit.ly/3uGwSDy>



Les différents types de radiothérapie pour le traitement des cancers

La radiothérapie est un traitement courant des cancers. Son principe: utiliser des rayonnements (on parle aussi de rayons ou radiations) pour cibler et détruire les cellules cancéreuses. Néanmoins, ces rayonnements ne proviennent pas tous des mêmes sources. Raison pour laquelle on distingue radiothérapie externe et radiothérapie interne.



En **radiothérapie externe**, on utilise des machines situées à proximité du patient (des accélérateurs de particules) pour générer des rayons X ou des électrons qui traversent la peau pour atteindre une tumeur cancéreuse et la détruire.

En **radiothérapie interne** (ou radiothérapie interne vectorisée ou radiothérapie métabolique), on administre, généralement par voie orale, une substance radioactive couplée à une molécule porteuse. Et c'est ce médicament radiopharmaceutique qui va émettre des rayons (bêta ou alpha) sur les cellules cancéreuses sur lesquelles il se sera fixé. Cette technique est également appelée médecine nucléaire thérapeutique.



De grands progrès en radiothérapie externe

— Au cours des 20 dernières années, les techniques se sont sans cesse modernisées pour mieux cibler les traitements et diminuer les risques d'irradiation des cellules saines. La plus utilisée de nos jours est la **radiothérapie conformationnelle 3D** qui fait correspondre le plus précisément possible le volume sur lequel sont dirigés les rayons au volume de la tumeur, en épargnant au maximum les tissus sains avoisinants. La **protonthérapie** est réputée pour être la plus précise. Elle utilise des faisceaux de protons accélérés dont l'un des avantages est de peu se disperser sur leur trajectoire pour augmenter le dépôt d'énergie sur la tumeur tout en évitant les cellules voisines. Seul inconvénient, cette technique nécessite des installations très coûteuses. Elle est aujourd'hui principalement utilisée pour traiter certains cancers chez l'enfant ou certains cancers de l'œil.

Médecine nucléaire: et demain?

Les recherches et essais cliniques en médecine nucléaire menés actuellement dans le monde permettent d'ouvrir la voie à de nouvelles possibilités thérapeutiques pour les patients.

Les innovations à venir dans le champ de la médecine nucléaire concernent en particulier les traitements, à savoir la radiothérapie interne vectorisée (RTIV). Ces nouveaux traitements s'appuient sur l'utilisation de nouveaux radionucléides couplés à des molécules « porteuses » pour former le médicament radiopharmaceutique (MRP). Ce MRP est administré au patient via une injection intraveineuse dans la plupart des cas. « Le traitement de certains cancers métastatiques de la prostate est ainsi en train de s'améliorer. Un essai clinique de phase 3 mené à l'échelle mondiale

(essai intitulé « Vision ») a permis de valider l'efficacité d'un nouveau médicament radiopharmaceutique composé de Lutétium 177 (radionucléide) et de PSMA 617 (molécule porteuse) », explique Célian Michel, physicien médical au sein de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Du fait de ces résultats prometteurs, il semble probable que ce nouveau traitement obtienne prochainement une autorisation de mise sur le marché. Et nombre d'essais cliniques moins avancés testent d'autres radionucléides pour lutter contre le cancer de la prostate, qui est le cancer le plus

fréquent chez l'homme. Citons par exemple l'actinium 225 dont les émissions de rayonnements alpha intéressent beaucoup. « Car ce radionucléide a la capacité d'émettre une grande quantité d'énergie et de manière très localisée », précise Célian Michel. Ils limitent donc les dommages potentiels aux cellules saines voisines, tout en attaquant les cellules cancéreuses avec plus de puissance. On parle d'alphathérapie. Par ailleurs, les recherches sur l'utilisation clinique de nouveaux radionucléides promettent aussi d'améliorer les diagnostics. Gallium 68, cuivre 64 ou encore zirconium 89 ont chacun des propriétés qui, couplées à celles de molécules porteuses, vont, par exemple, améliorer la qualité de l'image d'une zone malade, ou permettre de mieux explorer le comportement et l'évolution de cellules cancéreuses.

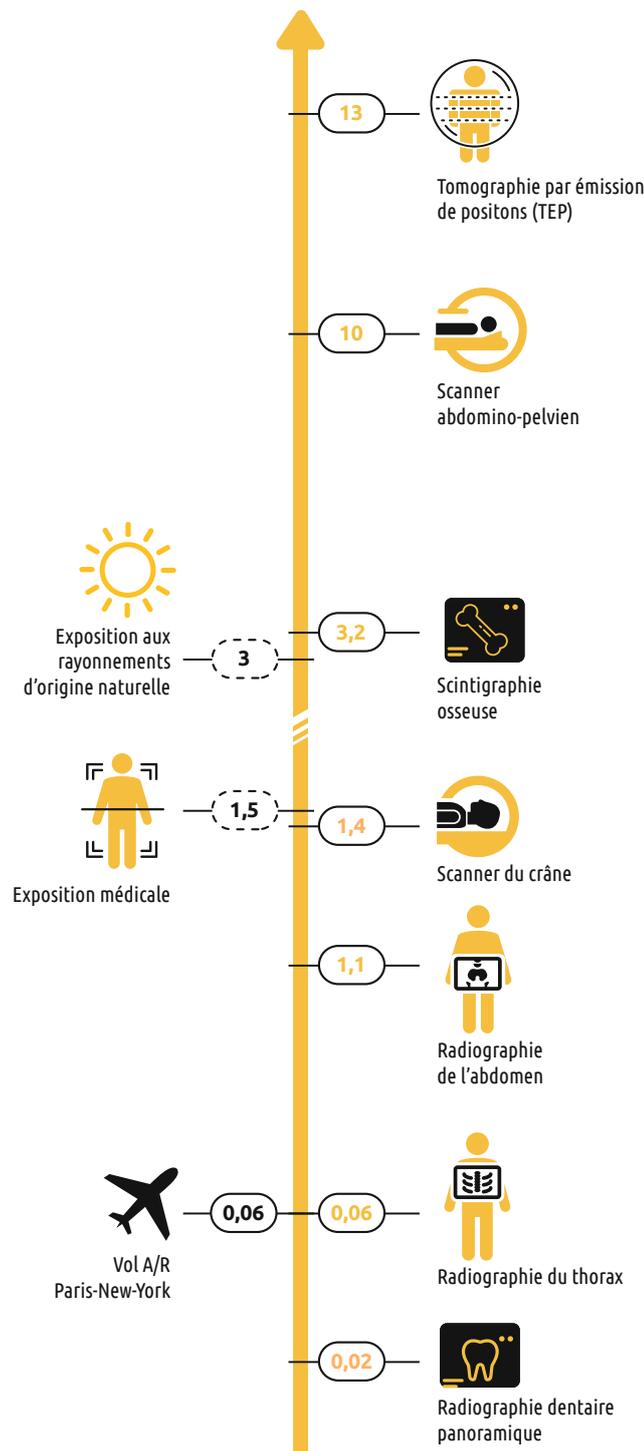
Traitement ou diagnostic : à quelles doses de rayonnement s'expose-t-on ?

Exposition dans un contexte médical

L'impact du rayonnement sur la matière vivante se mesure en sievert (Sv).

 Dose moyenne en mSv/an

 Dose « ponctuelle » en mSv



Une discipline médicale très encadrée

— Parce qu'elle s'appuie sur l'utilisation de la radioactivité, la médecine nucléaire fait l'objet **d'une réglementation précise et de contrôles fréquents** réalisés par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). C'est aussi l'ASN qui accorde les autorisations pour les activités nucléaires relatives à la fabrication, la détention et l'utilisation de radionucléides. Les inspections dans les services de médecine nucléaire réalisées par l'ASN permettent de s'assurer notamment du respect des règles relatives à la radioprotection des patients comme du personnel.

lepointdevue

Michel Bourguignon

Professeur de biophysique et médecine nucléaire (Université Paris Saclay -UVSQ) et ancien commissaire de l'ASN



Les risques liés aux rayonnements

Pour Michel Bourguignon, les actes médicaux utilisant des rayonnements ionisants au sens large ont contribué à de grands progrès médicaux. Mais ils ne doivent pas faire oublier les risques liés à l'exposition.

Même si la balance bénéfique/risque est indéniable, ces différentes techniques exposent les patients à des doses de radiation qui, si elles se répètent et/ou sont trop importantes, peuvent engendrer des effets néfastes pour la santé. En France par exemple, l'imagerie médicale est devenue la première source d'exposition aux rayonnements ionisants, devant les rayonnements naturels. C'est pour cette raison que deux grands principes doivent guider tout recours à ces techniques, notamment pour l'imagerie : justification et optimisation. Par exemple pour soigner une fracture de l'avant-bras, il suffit de faire une radio, réduire la fracture, mettre un plâtre et attendre environ 6 semaines pour que ça se répare. Pas la peine de faire une radio toutes les semaines !

Secteur médical: des déchets pas comme les autres...

En France, l'activité des différents établissements de santé génère des déchets au quotidien. Si une majorité est sans risques, certains sont à risque infectieux et d'autres, radioactifs. Illustration en chiffres.

HÔPITAL

DE QUELS DÉCHETS PARLE-T-ON ?

DÉCHETS GÉNÉRAUX

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



Déchets pharmaceutiques
(vaccins et médicaments périmés par exemple)



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



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...) ou pouvant contenir des bactéries, parasites ou virus, telles des compresses, du sang...



DÉCHETS RADIOACTIFS

Déchets radioactifs

(tout liquide ou solide ayant potentiellement été contaminé par une source radioactive)



Entre **1 et 10 m³**

C'est en moyenne le volume de déchets radioactifs produits chaque année (tous modes de gestion confondus) au sein des 300 établissements référencés.



2018 m³

C'est, à fin 2020, le volume de déchets radioactifs géré en décroissance par les établissements de santé.

Déchets stockés dans les centres de l'Andra



0,7%

des déchets radioactifs déjà stockés ou destinés à être pris en charge par l'Andra sont issus du secteur médical.

Ce qui représentait environ **11 000 m³** à fin 2020.

ACCUEIL



... et une gestion sur mesure

Les actes de diagnostic et de thérapie effectués dans les services de médecine nucléaire génèrent des déchets radioactifs. Liquides, gants ou seringues ayant servi aux traitements, tout ce matériel contaminé doit être géré en toute sécurité. Au sein des établissements de santé, des protocoles clairs et stricts sont donc suivis selon la nature des déchets. Explications.

Parce qu'elles utilisent des radionucléides, une scintigraphie ou une radiothérapie occasionnent la production de déchets radioactifs. Ils peuvent être solides (gants, blouses, fioles, seringues...) ou liquides (ceux provenant des sanitaires utilisés par les patients traités par exemple). Pour s'assurer de protéger l'homme et l'environnement d'une contamination, les déchets radioactifs doivent être gérés comme tels selon des règles fixées par la loi. Cette gestion dépend principalement du temps pendant lequel les substances qu'ils contiennent resteront radioactives (la radioactivité décroît avec le temps, c'est le phénomène de la « décroissance radioactive »).

Une gestion « en décroissance » pour les déchets de radioactivité courte

« Dans les applications de médecine nucléaire classiques, les radionucléides utilisés ont généralement des périodes de radioactivité très courtes, inférieures à 100 jours. On parle de déchets à vie très courte (VTC). Pour le technétium ou le fluor 18, on parle de quelques heures. L'iode 131, lui, a une période* de 8 jours. Dans ces cas-là, les déchets sont gérés en décroissance sur les sites médicaux où ils ont été produits avant d'être éliminés dans les filières de gestion conventionnelles », explique Christophe Dumas, responsable de la prise en charge des déchets des producteurs non électronucléaires à l'Andra.

Ainsi, les établissements autorisés à pratiquer la médecine nucléaire doivent disposer de locaux spécifiques pour entreposer les déchets solides jusqu'à ce que leur radioactivité ait suffisamment décliné. Comme le notifie l'ASN : « Les



Flacons de scintillation conditionnés en fût plastique.

déchets ne peuvent être évacués du lieu d'entreposage qu'après un délai supérieur ou égal à dix fois la période du radionucléide. En cas de présence de plusieurs radionucléides, la période la plus longue de ces radionucléides doit être retenue. » « Pour les déchets liquides, c'est un peu différent, souligne Christophe Dumas. Souvent les établissements de santé utilisent des cuves spécifiques. Tous les liquides potentiellement radioactifs sont récupérés dans ces cuves pour être là encore gérés en décroissance mais la mesure utilisée n'est pas la même : la radioactivité doit ici être inférieure à 10 becquerels par litre avant d'éliminer les effluents contenus dans la cuve. »

L'Andra gère et stocke les autres déchets radioactifs

Les autres déchets, dont la radioactivité décroît plus lentement (au-delà de 100 jours), sont pris en charge par l'Andra.

Mais avant de les remettre à l'Andra, les établissements doivent conditionner ces déchets de manière très stricte : dans des bonbonnes de 30 litres agréées par l'Andra pour les liquides, dans des fûts en plastique PEHD de 120 litres pour les déchets solides incinérables, et dans des fûts métalliques de 120 litres, pour

« Les déchets ne peuvent être évacués du lieu d'entreposage qu'après un délai supérieur ou égal à dix fois la période du radionucléide »

les déchets solides compactables et non compactables.

« Ensuite, une fois que nous les récupérons, les déchets dits incinérables sont envoyés dans une usine spécifique – Centraco – pour être brûlés avant que les résidus et filtres ne soient conditionnés puis stockés au Centre de stockage de l'Aube (CSA), précise Christophe Dumas. Les autres déchets, eux, sont envoyés au Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) pour être regroupés avant d'être traités, conditionnés, puis, selon leur catégorie, soit stockés ou entreposés pour les déchets ne disposant pas encore de solution de stockage. »

De leur production à leur élimination ou stockage, les déchets radioactifs du secteur médical font donc l'objet d'un encadrement sur mesure, au même titre que les déchets produits par d'autres secteurs comme l'industrie non électronucléaire, la défense ou la recherche. « L'Andra assure une prise en charge spécifique et centralisée pour les producteurs de déchets autres que ceux du secteur de la production d'électricité nucléaire, du fait du petit volume de leurs déchets, de leur variété et leur répartition sur l'ensemble du territoire », souligne Christophe Dumas. Précisons qu'en 2020, dans le contexte de la crise sanitaire, l'Andra a veillé à assurer une continuité de service pour la prise en charge des déchets issus du secteur médical.

(*) Pour rappel, la période (ou demi-vie) est le temps nécessaire pour que la moitié des atomes se désintègrent naturellement.

REPORTAGE

Médecine nucléaire: dans les coulisses du Centre François Baclesse de Caen

Dans le Centre de lutte contre le cancer François Baclesse, la radioprotection est un impératif du quotidien. Outre la formation des personnels, des installations et des procédures spécifiques sont prévues au regard des risques d'exposition lors des examens de diagnostic, des thérapies suivies par les patients et pour la gestion des déchets radioactifs. Reportage.

En Normandie, au nord de la ville de Caen, le Centre François Baclesse est un établissement de référence en cancérologie, membre du groupe Unicancer. **Ici, 1084 professionnels de santé prennent en charge chaque année 26 500 patients.**

Le Centre François Baclesse se divise en plusieurs unités. On y trouve notamment: un pôle de radiologie, un grand service de radiothérapie équipé de 7 accélérateurs linéaires et d'une unité de protonthérapie, un service de médecine nucléaire, des unités d'hospitalisation et de chimiothérapie, ainsi qu'une unité de recherche clinique pour suivre des patients dans des essais cliniques. Une fois à l'accueil, au rez-de-chaussée, il ne faut faire que quelques pas pour se rendre dans le service de médecine nucléaire. C'est ici que les scintigraphies et autres examens d'imagerie utilisant des radioéléments sont réalisés. Ici aussi que l'on trouve

le laboratoire « chaud » dédié à l'entreposage, à la production et au contrôle des médicaments radiopharmaceutiques utilisés pour le diagnostic ou les thérapies. Et pour effectuer les radiothérapies internes, quatre chambres radio-protégées situées dans l'unité d'hospitalisation, au 7^e étage, complètent le service.

« C'est dans ces chambres que nous faisons les traitements avec de l'iode 131 pour traiter les cancers de la thyroïde, ou avec du lutétium 177 pour les tumeurs neuro-endocrines, explique Benjamin Ménard, conseiller en radioprotection du Centre. Pour l'imagerie, tout se passe directement dans le service de médecine nucléaire: on dispose de trois gamma-caméras, dont deux couplées à des scanners, et d'un tomographe par émission de positons. »

Murs plombés et personnels équipés

Dans ces différentes zones du Centre François Baclesse, la radioprotection est donc impérative puisqu'on y manipule des éléments radioactifs. Certains murs sont ainsi renforcés par une couche de quelques millimètres à quelques centimètres de plomb. De plus, quand ils pénètrent dans les zones contrôlées, les médecins nucléaires, radiopharmaciens, physiciens médicaux, manipulateurs, infirmiers et aides-soignants doivent s'équiper

de dosimètres. « Il y a différentes couleurs de zones et en fonction de ces couleurs, les conditions d'accès vont évoluer. À partir du moment où on est en zone contrôlée, verte et jaune chez nous, il faut porter deux dosimètres. Un dosimètre passif et un dosimètre opérationnel », décrit encore Benjamin Ménard. « Le premier mesure la dose de radioactivité à laquelle s'expose le personnel et, tous les trois mois, nous les envoyons dans un laboratoire spécialisé qui analyse les dosimètres et enregistre la dose reçue pour chaque intervenant, explique Alain Batalla, responsable du service de physique médicale et de la radioprotection du Centre. Le second se présente sous la forme d'un boîtier électronique. Il est moins fiable car sensible à certaines ondes électromagnétiques mais il permet d'afficher instantanément la dose à laquelle s'expose un membre du personnel et d'émettre des alarmes en cas de dépassement de seuil d'exposition. »

Outre ces dispositifs, le personnel

“
On peut gérer en décroissance tous les déchets qui ont une période inférieure à 100 jours. Ce qui correspond à la quasi-totalité des produits que nous utilisons. »

Benjamin Ménard

Conseiller en radioprotection du Centre



Manipulateur travaillant dans une boîte à gants radioprotégée au laboratoire de médecine nucléaire.

est formé à la radioprotection tous les trois ans. « Cela permet de faire un rappel réglementaire, d'échanger avec le personnel sur les bonnes pratiques et d'aborder les nouveautés », précise Benjamin Ménard.

Et bien sûr l'information donnée aux patients est impérative. Les médecins en consultation, les manipulateurs qui réalisent les examens et les infirmiers et aides-soignants présents pour les examens de diagnostic ou en hospitalisation, expliquent à chaque fois aux patients les consignes à suivre pour éviter tout risque d'exposition. « C'est notamment le cas pour l'utilisation des toilettes dédiées aux patients de médecine nucléaire qui sont à double compartiment. Il y a ainsi un bac pour récupérer les urines qui ensuite arrivent directement dans des cuves spécifiques, appelées cuves de décroissance, détaille Alain Batalla. Car les urines concentrent la majeure partie de la radioactivité. »

Des espaces dédiés à la gestion des déchets radioactifs

Cette information aux patients rejoint un autre impératif de radioprotection du Centre: la gestion maîtrisée de ses déchets. « Sur ce point, tout le personnel



Couloir d'accès aux gamma-caméras dans le service de médecine nucléaire.

opérant dans le service de médecine nucléaire, comme dans les chambres radioprotégées, suit une procédure très précise. On peut gérer en décroissance tous les déchets qui ont une période inférieure à 100 jours. Ce qui correspond à la quasi-totalité des produits que nous utilisons », insiste Benjamin Ménard.

Des pièces sont ainsi dédiées au stockage des différents déchets. À l'étage des hospitalisations par exemple, le linge, potentiellement contaminé par transpiration, est récupéré et stocké pendant 3 mois environ, avant d'être lavé puis réutilisé. Quant aux perfusions et autres aiguilles utilisées pour les examens et les traitements, elles sont stockées dans des poubelles ou cartons le temps de leur décroissance avant d'être acheminées vers la filière d'élimination des déchets d'activités de soins à risques infectieux (DASRI).

— Les établissements de santé utilisant des radionucléides sont tenus de transmettre chaque année à l'Andra un inventaire des déchets radioactifs qu'ils détiennent. Les volumes et les localisations de ces déchets sont répertoriés dans l'*Inventaire national des matières et déchets radioactifs* publié par l'Andra.
<https://inventaire.andra.fr/>

« À partir du moment où on est classé et que l'on intervient en zone contrôlée, verte et jaune chez nous, il faut porter deux dosimètres »

Benjamin Ménard

« Pour les déchets liquides, les urines mais aussi les eaux de rinçage du laboratoire chaud sont récupérées séparément et arrivent par canalisation directement dans des cuves disposées dans un local du deuxième sous-sol du Centre, précise Benjamin Ménard. En tout, nous avons huit cuves pour une capacité totale de stockage de 15 000 litres. Dès qu'une cuve est remplie, elle est mise en décroissance et on bascule sur une autre cuve. Elles ont été dimensionnées de manière que le temps de remplissage d'une cuve assure la décroissance de l'autre. » Et pour s'en assurer, un prélèvement est systématiquement effectué pour être analysé dans un laboratoire et vérifier que l'activité volumique de la cuve est inférieure aux limites réglementaires. Dans le Centre François Baclesse, les équipes ne laissent donc rien au hasard en matière de radioprotection. ●





CHANTIER

À Ganagobie, plus qu'un chantier d'assainissement, un travail d'enquête

Depuis plusieurs années, l'Andra assure, au titre de sa mission de service public, l'assainissement d'un ancien laboratoire pharmaceutique laissé à l'abandon par un entrepreneur peu scrupuleux. Résultat: de nombreux produits non identifiés... et un chantier aussi complexe qu'atypique. Retour sur un travail d'enquête au long cours.



Dans le village de Ganagobie, entre Manosque et Gap, dans les Alpes-de-Haute-Provence, une maison *a priori* banale est surnommée la « villa radioactive »: sur ce site, l'entreprise Isotopchim a produit, pour des laboratoires pharmaceutiques, des molécules marquées au carbone 14 (lire encadré) de 1986 à 2000, avant de déposer le bilan en abandonnant la « villa ». Les exploitants d'Isotopchim ne se sont pas embarrassés de précautions et ont laissé sur place des produits chimiques, liquides et solides, contaminés. « C'est la première fois que l'on était confronté à une telle pollution radioactive intentionnelle en France », souligne Nicolas Benoit, responsable du pôle d'assainissement des sites pollués par la radioactivité à l'Andra.

“
Le chantier d'assainissement d'Isotopchim s'est révélé très long et complexe car on ne connaissait pas précisément la nature des produits chimiques et radioactifs présents. »

Inventaire et premières évacuations

Au-delà du carbone 14, les éléments radioactifs utilisés dans le cadre de l'activité d'Isotopchim sont nombreux: du tritium, du phosphore, du fluor ou encore du soufre. « La plupart des chantiers sur lesquels nous intervenons sont d'anciens ateliers liés à l'utilisation du radium, le cas d'Isotopchim se distingue par un certain nombre de risques physico-chimiques. Quand nous sommes arrivés sur le site, il y avait quelques mètres cubes de produits chimiques liquides et près de 3 000 flacons de produits solides dont nous n'avons aucune information sur la composition », raconte Nicolas Benoit. Or l'absence d'information sur les produits chimiques utilisés empêche la prise en charge des déchets par les filières de gestion habituelles de l'Andra... et personne ne sait exactement ce que recèlent les locaux laissés à l'abandon! Commence alors un long et minutieux travail de caractérisation chimique et radiologique...

Un premier inventaire est fait en 2003, qui permet d'évacuer une première partie des substances

présentes, notamment les produits chimiques non radioactifs. Puis, de 2004 à 2016, de nouvelles analyses sont menées avec le CEA pour poursuivre l'évacuation des produits solides: « Le CEA est chargé d'analyser les produits solides afin de pouvoir détruire par incinération tous les produits radioactifs qui pouvaient l'être », explique Nicolas Benoit.

Soixante-dix mètres cubes de déchets divers (matériels de laboratoire, paille, sorbonne) sont pris en charge dans les centres de l'Andra dans

Carbone 14

— Le carbone 14 est connu pour son utilisation dans la datation des vestiges archéologiques, mais il est également utilisé comme traceur pour suivre par exemple l'efficacité d'une molécule médicamenteuse en phase de développement. Isotopchim synthétisait ces molécules marquées pour les commercialiser aux industries pharmaceutiques.

l'Aube, tandis que le Centre nucléaire de traitement et de conditionnement des déchets faiblement radioactifs, Centraco, de Cyclife France (dans le Gard), se voit confier la destruction de la moitié des produits chimiques liquides. Seulement la moitié? Oui, car pour les tout derniers déchets, un mètre cube de déchets liquides et 40 kg de déchets solides, une nouvelle phase d'analyse, sur site, est nécessaire.

Un vrai travail d'enquête

Cette opération, menée avec la société Curium, spécialiste de l'analyse et de la caractérisation chimique et radiologique, a nécessité d'installer un « laboratoire de campagne » à l'arrière du bâtiment. Désormais, tous les déchets restants sont dans une unique pièce, sécurisée, de la « villa radioactive ». Elle n'est accessible qu'en étant vêtu d'une combinaison protégeant de la contamination avec apport d'air respirable. Les opérateurs sortent par un sas de décontamination « où ils doivent vider une bombe de laque sur leur combinaison pour plaquer les particules radioactives et éviter de les transporter à l'extérieur de cette zone », explique Séverine Permingeat, chargée d'activités radioactivité nucléaire pour le laboratoire Curium. Dans le laboratoire, des dispositifs appelés barboteurs contrôlent le taux de carbone 14 dans l'air ambiant. Les laborantins travaillent sous une hotte aspirante quand ils manipulent les flacons: ils y prélèvent des échantillons qui font

l'objet d'analyses chimiques et radiologiques. « Notre objectif est d'évacuer les produits chimiques liquides vers les centres de l'Andra. Pour ce faire, la première étape a consisté à identifier les caractéristiques physico-chimiques des produits et leur comportement pour ne pas provoquer de réactions chimiques lors des assemblages », détaille Nicolas Benoit. Et lorsque des produits présentent les mêmes risques, les éléments identifiés sont préalablement regroupés afin de minimiser le nombre d'analyses à réaliser.

La sécurité, une priorité

— Afin d'assurer la sécurité des lieux et prévenir les risques liés aux incendies dans la région, l'Andra est également en charge de l'entretien extérieur, dans la zone clôturée autour de l'installation. Des opérations de défrichage sont ainsi régulièrement réalisées.

Ce travail minutieux permet de pré-assembler des produits de même famille pour ensuite les orienter vers les filières de gestion adéquates: stockage ou entreposage sur les centres de l'Andra dans l'Aube, traitement par incinération ou solidification sur le site de Centraco, avant leur envoi sur les installations de l'Andra.



Caractérisation des échantillons dans le laboratoire d'analyse installé sur le site.

Il faudra ensuite analyser la quarantaine de kilos de déchets solides restant sur le site afin d'acquérir leurs caractéristiques radiologiques et chimiques, qui à ce jour ne sont pas connues. « Ces mesures permettront de déterminer leur exutoire et les traitements nécessaires à effectuer sur ces produits afin de les orienter vers les filières de gestion adaptées, probablement en entreposage sur les installations de l'Andra », précise Nicolas Benoit. Les résultats des analyses sont attendus à l'été 2022, avec l'objectif visé de finaliser leur prise en charge dans les deux ans à venir.

Pour terminer de dépolluer les 500 m² du site, et notamment le bâtiment du laboratoire, le chantier durera vraisemblablement jusqu'en 2025, tandis que le démantèlement du bâtiment – qui contient de l'amiante – est espéré pour 2028 ou 2029. ●



Prise d'échantillon pour analyse dans la zone contrôlée.

Le saviez-vous?

— Lorsque le responsable d'une pollution radioactive est absent, insolvable ou s'il n'existe plus, c'est l'Andra, missionnée par la Commission nationale des aides dans le domaine radioactif (CNAR), qui prend en charge leur assainissement et la gestion des déchets radioactifs qui en découlent.

Vincent Lelaidier, l'expert technique du CSM

Technicien de maintenance sur des équipements de mesure et surveillance depuis 30 ans, Vincent Lelaidier a rejoint les équipes de l'Andra il y a un an et demi comme technicien de suivi des modifications et mesures au sein du Centre de stockage de la Manche (CSM). Un poste qui permet de mettre toute son expérience passée à profit et d'apprendre, encore et toujours.

Durant sa carrière, Vincent Lelaidier a fait le tour de la filière nucléaire. Ou presque. « *J'ai travaillé en centrale nucléaire, dans l'usine de retraitement du combustible nucléaire usé d'Orano La Hague et maintenant sur une installation de stockage de déchets radioactifs de l'Andra. Au Centre de stockage de la Manche, aujourd'hui en phase de fermeture, je suis au bout de la chaîne des installations nucléaires. C'est très enrichissant de connaître la chaîne d'activités de cette industrie* », raconte le technicien de suivi des modifications et mesures du CSM.

Ce poste, qu'il exerce depuis janvier 2020, requiert de l'expérience et un savoir-faire pluridisciplinaire. Vincent intervient ainsi de manière transverse, autant pour les études et travaux du CSM que pour l'exploitation du site. « *S'il y a une urgence, je peux faire une intervention technique, effectuer un réglage ou encore changer une pièce. Et, sinon, je suis en mesure de dresser un bilan et de déterminer quel prestataire va pouvoir se charger de la maintenance* », explique-t-il. Mais ce grand amateur de bricolage et de jardinage dans la vie privée est aussi très investi et multitâche dans sa vie professionnelle. Il s'emploie ainsi à identifier avec ses collègues les modifications à apporter à ce site mis en service il y a plus de 50 ans, pour s'assurer de son bon fonctionnement, garantir sa sûreté et l'adapter aux nouvelles réglementations. Il peut s'agir d'installer un nouveau matériel électrique ou d'effectuer des travaux sur des circuits d'effluents. « *Là aussi je me charge de rédiger un dossier de travaux, de faire intervenir les prestataires compétents et de valider la qualité de leurs réalisations*, décrit encore Vincent Lelaidier. *Et il y a la partie essais et mesures. En association avec nos collègues du Centre de stockage de l'Andra dans l'Aube, je réalise par exemple des tests d'infiltration sur la couverture de protection du Centre: nous injectons de l'eau et observons comment elle réagit afin, notamment, de nous assurer que ses performances (drainage et imperméabilité) se maintiennent dans le temps.* »



Vincent Lelaidier

“ ***S'il y a une urgence, je peux faire une intervention technique, effectuer un réglage ou encore changer une pièce.*** »

Expérience valorisée et équipe rapprochée

Pour lui, pas de doute, c'est le poste idéal. Car il lui permet encore d'évoluer, même après tant d'années dans la filière nucléaire, mais aussi de mettre à profit tous les gestes, les bonnes pratiques et les connaissances apprises depuis 30 ans. « *Je mets vraiment à disposition mon expertise et c'est très valorisant. Je réalise à quel point tout ce que j'ai pu faire auparavant m'est utile et sert au Centre* », se réjouit le technicien.

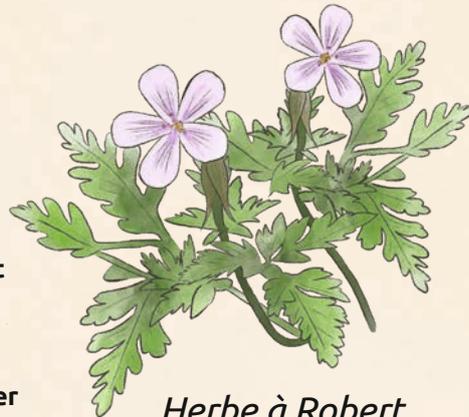
Et ce savoir-faire reconnu ne laisse pas de place à l'ennui ou à la routine. Vincent Lelaidier apprend beaucoup au contact de ses collègues sur ce site pionnier de stockage de déchets radioactifs. « *C'est quand même un vrai plus de venir au travail à plus de 50 ans en se disant qu'on peut encore apprendre et qu'une journée ne ressemble pas à une autre* », ajoute-t-il.

De plus, après avoir travaillé pour une entreprise de plusieurs milliers de personnes et sur des sites de superficies souvent immenses, il apprécie particulièrement l'échelle humaine du Centre de stockage de la Manche et de son équipe. « *Là on connaît les gens. Et on peut intervenir directement et rapidement*, témoigne Vincent Lelaidier. *C'est un confort sans commune mesure. Tout ce qu'on fait, on en voit ensuite l'impact. On peut aussi en discuter facilement et avoir des retours. Là encore c'est valorisant et ce cadre convivial me plaît beaucoup.* » ●

Des fleurs à la loupe

Le saviez-vous? Près de 182 espèces végétales poussent sur le site du Centre de stockage de la Manche. Tous les cinq ans, l'Andra fait réaliser un herbier destiné à les répertorier. Le prochain sera rendu public en 2023.

Dans le cadre de sa surveillance de l'environnement et des impacts potentiels liés à ses activités, l'Andra recense régulièrement la flore présente sur le Centre de stockage de la Manche. Dans cet objectif, elle fait réaliser régulièrement un herbier par un bureau d'études environnementales, Biotope. Pour chaque plante récoltée, sont mentionnés ses classifications scientifiques, la date de l'échantillon et l'endroit exact où il a été prélevé. Voici une sélection de quatre spécimens de fleurs répertoriées dans l'herbier 2008-2018 et que vous connaissez peut-être...



Herbe à Robert

Geranium robertianum

De la famille des Géraniacées (géraniums). Son surnom n'a rien à voir avec le prénom... Les médecins et apothicaires d'autrefois appelaient cette plante « herba ruber » (herbe rouge en latin) à cause de la couleur de ses tiges. Un nom qui lui est resté ! Elle pousse dans les zones tempérées. Très commune, elle est parfois utilisée comme plante ornementale pour recouvrir le sol.



Jacinthe des bois ou jacinthe sauvage

Hyacinthoides non scripta

Plante vivace de la famille des Liliaceae. On trouve cette espèce uniquement dans les zones à climat fortement océanique (Ouest de la France, Belgique, îles britanniques). Indicatrices de ce type de climat, ces petites fleurs bleues affectionnent les sols humides et la demi-ombre des sous-bois où elles forment de vastes tapis lors de leur éclosion.

Ophrys abeille

Ophrys apifera

De la famille des orchidées terrestres, présente en Europe. Elle tire son surnom de sa ressemblance avec l'abeille, qu'elle attire en produisant une odeur qui imite l'odeur de l'insecte femelle. Elle pousse à mi-ombre sur des terrains essentiellement calcaires, sur des talus, des prés ras, dans les rocailles. Elle fleurit au printemps.



Renouée des oiseaux

Polygonum aviculare

Plante herbacée annuelle de la famille des Polygonacées. Elle fait partie des adventices (mauvaises herbes). Ses fleurs blanchâtres ou rosées sont hermaphrodites. Elle doit son surnom à ses graines très appréciées des oiseaux. Cette espèce est très présente dans les jachères, sur les bords des chemins et pousse dans les interstices de toutes sortes.

#ON VOUS RÉPOND

Les déchets radioactifs d'un EPR* sont-ils différents des autres déchets ?

Les déchets radioactifs d'un EPR ont des caractéristiques similaires à ceux produits par le parc de centrales nucléaires actuellement en fonctionnement en France. Un EPR produit ainsi des déchets de très faible activité (TFA), de faible et moyenne activité, principalement à vie courte (FMA-VC), de moyenne activité à vie longue (MA-VL) et de haute activité (HA). Ces déchets peuvent être pris en charge sur les installations de l'Andra actuellement en exploitation, le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage pour les déchets TFA et le Centre de stockage de l'Aube pour les déchets FMA-VC; ou en projet, le centre de stockage géologique Cigéo pour les déchets MA-VL et HA.

À titre d'exemple, les déchets radioactifs qui seront produits par l'EPR de Flamanville, actuellement en construction, sont déjà pris en compte par l'Andra en vue de leur stockage: les futurs déchets MA-VL et HA figurent dans l'inventaire de référence du projet Cigéo, tandis que les futurs déchets FMA-VC et



EPR de Flamanville.

TFA ont fait l'objet d'échanges préalables en vue de leur prise en charge par le Cires et le CSA. L'autorisation d'expédier des colis sur ces centres devra toutefois être validée par l'Andra au moment de la mise en service de l'EPR.

En février dernier, le Président de la République a annoncé le projet de lancer la construction de 6 nouveaux EPR. Cette annonce a été suivie par la publication d'un rapport, intitulé *Travaux relatifs au nouveau nucléaire*, qui synthétise les travaux conduits sur les coûts, le

calendrier et les conditions de déploiement en France de nouveaux réacteurs nucléaires de technologie EPR2, ainsi que sur les enjeux de préparation de la filière nucléaire française et de gestion des déchets radioactifs, auxquels l'Andra a apporté sa contribution. La question de la gestion des déchets fait partie intégrante des travaux préalables à la décision de l'État concernant la mise en œuvre de nouveaux réacteurs. ●

*EPR : réacteur pressurisé européen.

#ILS SONT VENUS NOUS VOIR



Clément et Camille,
9 et 12 ans (Versailles)

« Les visites industrielles nous intéressent, c'est pourquoi nous avons découvert le CSM en famille lors de notre séjour dans le Nord-Cotentin. Nous avons beaucoup apprécié les maquettes qui aident à comprendre les choses et la vidéo qui racontait bien l'histoire du site »



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



Savez-vous ce que représente cette scène?
La réponse sur <https://bit.ly/3OdkSku>



Venez découvrir le 1^{er} Centre de stockage de déchets radioactifs!



Visites gratuites sur rendez-vous

Renseignements 0810 120 172

ou sur manche.andra.fr