

PRINTEMPS 2022 N°41

# le Journal de l'Andra

— ÉDITION MEUSE/HAUTE-MARNE



P.8

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

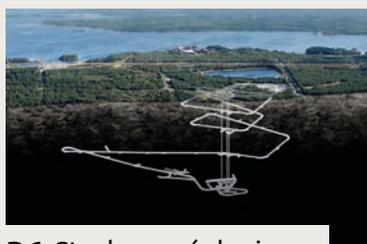
# Sommaire

## l'essentiel

- P.4** Podcast « Radio-Actif » : nouveaux épisodes à découvrir!
- P.4** *Le Journal de l'Andra*: votre avis nous intéresse!
- P.4** **danslesmédi**as  
Un objet radioactif dans votre grenier?
- P.4** La Suède autorise la construction du stockage géologique des déchets les plus radioactifs



- P.5** « Secrets d'abeilles », une exposition à butiner au Centre de Meuse/Haute-Marne de l'Andra



- P.6** Stockage géologique: en Finlande, bientôt la mise en service?

## éclairage

- P.7** Cigéo : étudier la diffusion des radioéléments dans la roche



### P.8 Dossier

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

- P.10** Des rayons pour diagnostiquer et soigner: un siècle d'histoire
- P.12** Ces scientifiques à l'origine de la médecine nucléaire
- P.13** Médecine et radioactivité: de quoi parle-t-on?
- P.14** Les différents types de radiothérapie pour le traitement des cancers
- P.14** Médecine nucléaire: et demain?
- P.15** Traitement ou diagnostic: à quelles doses de rayonnement s'expose-t-on?
- P.16** Secteur médical: des déchets pas comme les autres...
- P.17** ... et une gestion sur mesure
- P.18** **Reportage**: Médecine nucléaire: dans les coulisses du service du CHRU de Nancy
- P.20** Curium: spécialiste des « radiopharmaceutiques »

## immersion

- P.21** **Interview**  
Du métro à Cigéo, quelles perspectives pour les grands projets?
- P.22** Démontez les anciens paratonnerres, une affaire de spécialistes !
- P.24** **Chantier**  
À Ganagobie, plus qu'un chantier d'assainissement, un travail d'enquête
- P.26** **Portrait**  
Entre science et ingénierie: rencontre avec François Leveau

## territoire

- P.27** Clis: les chantiers du nouveau président
- P.27** **Concertation**  
Déviation RD960: un sujet partagé
- P.28** **Interview**  
« Un récit et des images pour traverser le temps »: Juliette Nier entre en résidence artistique au Signe
- P.29** Partenariat avec l'Institut mondial d'art de la jeunesse: faire rimer art et mémoire
- P.30** **#On vous répond**  
Les déchets radioactifs d'un EPR sont-ils différents des autres déchets?
- P.30** **#Ils sont venus nous voir**
- P.31** **Photomystère**



### ABONNEMENT GRATUIT

Pour être sûr de ne rien manquer sur l'actualité de l'Andra, **abonnez-vous par mail à [journal-andra@andra.fr](mailto: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. 24.



le chiffre  
**22M€**

C'est le montant HT des achats locaux de l'Andra en 2021. Ces commandes ont été passées auprès de 438 entreprises des départements de l'Aube (10), la Manche (50), la Haute-Marne (52), la Meuse (55).

## 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/3Klix13>



## 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 (cf. article p. 6).

# « Secrets d'abeilles », une exposition à butiner au Centre de Meuse/ Haute-Marne de l'Andra

Elle est à la fois fascinante, élégante, fragile et indispensable : l'abeille *Apis mellifera* vient bourdonner au Centre de l'Andra en Meuse/Haute-Marne (CMHM) jusqu'au 5 septembre 2022.

Proposer au public des connaissances, c'est aussi une mission de l'Andra, elle est même prévue par la loi ! Ainsi, l'Agence organise des expositions temporaires et des animations scientifiques et culturelles, gratuites et destinées à tous les publics. Ces expositions en lien avec des thématiques étudiées par l'Andra ont porté ces dernières années sur la géologie, l'environnement, la chimie, l'archéologie... « Nous étudions l'environnement autour de la zone où pourrait être implanté le centre de stockage Cigéo. Ces études sont réalisées par notre Observatoire pérenne de l'environnement (OPE) et elles portent notamment sur le suivi de la biodiversité. Cette année nous avons décidé de mettre à l'honneur les abeilles avec cette nouvelle exposition qui a débuté le 13 mars au bâtiment d'accueil du public », précise Marielle Girard, chargée de l'organisation des expositions au CMHM. Elle dévoile tous les secrets de l'abeille mellifère et permet de comprendre l'importance de cet insecte dans la pollinisation et son rôle essentiel dans le maintien de la biodiversité. Elle présente la vie des abeilles, leur élevage, leur organisation sociale, leur rôle dans l'écosystème et dans la vie de l'homme,

le métier d'apiculteur et le matériel nécessaire à l'extraction du miel. Des modules interactifs permettent d'en apprendre plus sur son anatomie, ses comportements... de faire la différence entre la reine, l'ouvrière ou le faux-bourdon, de voir comment les abeilles perçoivent leur environnement avec leurs yeux bien différents des nôtres...

« Si vous vous demandez pourquoi les abeilles fabriquent des alvéoles de forme hexagonale, ou comment avec une danse elles informent leurs congénères de la localisation d'un site à butiner, alors je vous invite à découvrir cette exposition "Secrets d'abeilles" qui ne manque pas de piquant », poursuit Marielle Girard. Ludique et pédagogique, l'exposition a été conçue par Altec, le Centre de culture scientifique, technique et industrielle de l'Ain, en collaboration avec le CNRS Ressources des terroirs et Les Compagnons du miel.

## Les abeilles, des enquêtrices au service de l'environnement

L'exposition est complétée par des données sur cinq ruches instrumentées, installées dans différents milieux par l'OPE (forêt, prairie, bord de rivière). Leur étude faite en partenariat avec le Centre d'études techniques apicoles de Moselle (CETAM) permet d'évaluer la santé des colonies et de réaliser des prélèvements de miel et de pollen. Leur analyse renseigne sur les plantes visitées, la quantité de nourriture disponible et la qualité chimique de l'environnement échantillonné par les abeilles. Le miel collecté diffère chaque année en fonction des ressources végétales. Ce sont principalement des miels de colza et de ronce.

Les abeilles sont de bons bio-indicateurs, elles permettent de suivre l'évolution de la végétation ou encore l'impact du changement climatique sur l'environnement. Voilà pourquoi, dans le cadre de l'OPE, miels et pollens sont ainsi collectés puis conservés en cryogénie, c'est-à-dire dans des cuves d'azote liquide à environ -170 °C. Par la suite, ces échantillons pourront dans le futur faire l'objet de nouvelles analyses. ●



Pour en savoir plus  
<https://bit.ly/3LtrPfr>

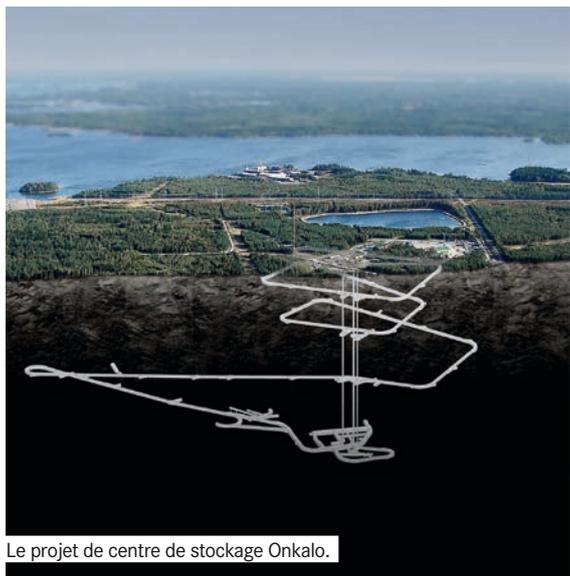


## Informations pratiques

— L'exposition « Secrets d'abeille » se tient au Centre de Meuse/Haute-Marne, jusqu'au 5 septembre. Elle est ouverte les mercredis et les dimanches jusqu'en juin, et du mercredi au dimanche pendant la Fête de la nature (18-22 mai) ainsi qu'en juillet et en août, de 14 h à 18 h. Des animations, ateliers, jeux et spectacles sont proposés. Programme détaillé sur [meusehautemarne.andra.fr](http://meusehautemarne.andra.fr).

# Stockage géologique: en Finlande, bientôt la mise en service?

Comment gérer les déchets hautement radioactifs issus des centrales nucléaires à travers le monde? Dès 1987, la Finlande a fait officiellement le choix d'un stockage définitif, dans une couche géologique profonde. En décembre dernier, l'entreprise Posiva, en charge du projet, a déposé auprès du gouvernement une demande d'autorisation d'exploitation de l'installation qui pourrait devenir la première de ce type au monde. Cap sur Olkiluoto, une île de la mer Baltique.



Le projet de centre de stockage Onkalo.

Posiva, une entreprise détenue par les deux exploitants, est tout spécialement chargée de la gestion du combustible nucléaire usé. Le stockage géologique « Onkalo », cousin du projet français Cigéo, est en cours de construction sur l'île d'Olkiluoto qui abrite déjà notamment trois réacteurs nucléaires.

## Le principe du stockage finlandais

Les étapes sont les suivantes :

- Le combustible usé séjournera d'abord en piscine de refroidissement puis sera descendu dans l'installation à plus de 400 mètres de profondeur<sup>1</sup>.
- Il sera inséré dans des cylindres d'acier eux-mêmes recouverts de cylindres de cuivre.
- Ces « capsules » seront placées dans des tunnels (alvéoles de stockage) aménagés le long des galeries.
- Les alvéoles seront remplies de bentonite, une argile gonflante. Acier, cuivre, argile, le tout dans une roche granitique vieille de deux milliards d'années, la combinaison de ces éléments vise à assurer une protection sur 100 000 ans.<sup>3</sup>

## C'est pour demain

En 2004, un laboratoire souterrain de recherche a d'abord été créé, ce qui a permis de mener des études sur la conception du stockage géologique. Ensuite, à partir de 2016, les travaux de construction de l'installation proprement dite ont pu débuter. D'ici cet été, 5 kilomètres de galeries seront creusées, chacune sur une longueur de 300 mètres.

Si l'exploitation est autorisée par les autorités, l'installation sera mise en service vers 2025. D'ici 100 ans environ, le site de

stockage aura atteint sa pleine capacité, Posiva prévoit donc de le fermer vers 2125. ●

437

mètres de profondeur  
(490 mètres pour Cigéo)

6 500

tonnes de déchets  
(capacité totale du stockage)

## Quid des autres déchets radioactifs ?

— Deux installations de stockage à faible profondeur sont en fonctionnement en Finlande pour les déchets radioactifs de faible et moyenne activité : la première, à proximité de la centrale d'Olkiluoto, où les déchets sont stockés entre 60 et 100 mètres de profondeur ; la seconde, près de la centrale de Loviisa, où les déchets sont stockés à environ 110 mètres. Dans le futur, les déchets radioactifs de démantèlement des réacteurs situés à Olkiluoto seront également pris en charge sur l'installation de stockage à proximité de la centrale.



## Un pays pionnier depuis 40 ans

Pour seulement 5,5 millions d'habitants, la Finlande compte 2 centrales avec 4 réacteurs qui produisent 30 % de l'électricité du pays, plus un EPR (réacteur pressurisé européen) qui vient d'être mis en service. Pour stocker le combustible usé des centrales (les déchets de haute activité, les plus dangereux pour l'homme et l'environnement), une solution a été retenue : le stockage définitif des déchets dans une couche géologique profonde. En 2016, les pouvoirs publics ont autorisé la construction d'une installation de ce type, et doivent désormais se prononcer sur l'autorisation d'exploitation.

## Des déchets gérés par les producteurs

En Finlande, les déchets radioactifs sont gérés sur place par ceux qui les produisent : les deux exploitants privés, TVO et Fortum. Ils sont sous la responsabilité du ministère du Commerce et de l'Industrie finlandais et leurs activités surveillées par le STUK<sup>1</sup>, l'autorité de sûreté finlandaise.

<sup>1</sup> L'équivalent de notre Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

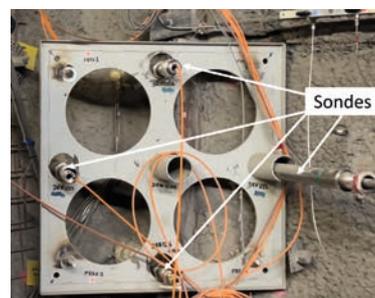
<sup>2</sup> Ce procédé, calqué sur le modèle suédois, ne prévoit pas de retraitement du combustible usé comme en France.

<sup>3</sup> Le temps pour que la radioactivité de ces déchets décroisse suffisamment et ne présente plus de risques.

Pour en savoir plus  
[www.posiva.fi/en/](http://www.posiva.fi/en/)



# Cigéo : étudier la diffusion des radioéléments dans la roche



**L'Andra mène des recherches actives pour garantir les bonnes capacités de confinement de la roche, dans le cadre du projet Cigéo. À cette fin, il est nécessaire de comprendre comment les radioéléments présents dans les colis de déchets se diffuseront dans la roche du futur centre de stockage géologique profond, si celui-ci est autorisé.**

Le projet Cigéo vise à stocker dans une couche géologique profonde les déchets hautement radioactifs. Sa sûreté à long terme repose ainsi sur plusieurs barrières, notamment les colis dans lesquels seront conditionnés les déchets, et surtout la roche argileuse dans laquelle est implantée l'installation. En effet, au bout de plusieurs centaines d'années, les colis de déchets se dégraderont et commenceront à relâcher très progressivement des éléments radioactifs. La couche géologique prendra le relais en piégeant la plupart de ces éléments ou en ralentissant le déplacement des plus mobiles.

## La migration des radioéléments

Au sein de la roche argileuse, les flux d'eau sont extrêmement faibles et la migration des radionucléides s'effectue par diffusion. Ils peuvent également être retenus sur les différents minéraux constituant la roche. Pour mieux comprendre la manière dont diffuseront les radioéléments, l'Andra a mené jusqu'en 2009 une expérience *in situ* baptisée « Diffusion de traceurs inertes et réactifs » (DIR) au sein du Laboratoire souterrain de recherche de Meuse/Haute-Marne. Le principe : injecter des radioéléments dans des forages verticaux

et observer leur diffusion. Cette expérience a permis de démontrer que le comportement des éléments radioactifs dépendait presque intégralement de leur charge (lire encadré). Plus précisément : les cations ont une migration ralentie grâce aux interactions avec les minéraux argileux, tandis que les anions sont freinés dans leur diffusion car repoussés des surfaces argileuses. « Au final, cette expérience a démontré les bonnes capacités de confinement de la couche géologique », explique Myriam Agnel, ingénieure expérimentations en géochimie à l'Andra. Les résultats de cette première expérimentation *in situ* seront affinés par une nouvelle expérimentation nommée « Diffusion radionucléides » (DRN), qui devrait s'étaler sur une dizaine d'années. « Son objectif est de compléter l'expérimentation DIR en affinant la précision de certains paramètres. »

## Des mesures 3D en temps réel

Dans cette expérience, les forages sont réalisés horizontalement dans la roche, et les distances de diffusion étudiées sont plus importantes. « La diffusion des radionucléides est mesurée et étudiée dans toutes les directions : verticalement, et

horizontalement. » Enfin, les mesures sont acquises en temps réel, grâce à des capteurs placés à proximité du forage contenant les radioéléments. « Trois essais ont été prévus dans une galerie du Laboratoire souterrain », précise Myriam Agnel. « Ils correspondent à l'étude de radioéléments distincts, représentatifs du comportement des différents radionucléides, pour observer leur diffusion : le sodium 22, le chlore 36, l'eau tritiée (eau contenant de l'hydrogène radioactif) et l'uranium. » Le 24 novembre 2021, les équipes ont notamment réalisé l'injection de deux traceurs radioactifs (le sodium 22 et l'eau tritiée). Pour ce projet, l'Andra travaille en étroite collaboration avec les chercheurs du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). Les deux organismes ont développé l'expérimentation et son dimensionnement, grâce notamment aux modélisations du CEA. Deux entreprises sont également impliquées dans ce projet : Solexperts, pour l'équipement des forages, et la startup Axint pour le développement des capteurs de rayonnement. ●



Voir la vidéo sur cette expérimentation : <https://youtu.be/uvvzOGLoAj4>



## Comprendre la charge des éléments

— Les atomes, qu'ils soient radioactifs ou non, peuvent être chargés positivement, négativement, ou être neutres selon le nombre de protons ou d'électrons qu'ils possèdent. Les cations sont ainsi chargés positivement, et les anions, négativement. Ils interagissent donc de façon différente avec l'argile, dont les surfaces de la porosité sont chargées négativement.





# 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.10** Des rayons pour diagnostiquer et soigner: un siècle d'histoire

**P.12** Ces scientifiques à l'origine de la médecine nucléaire

**P.13** Médecine et radioactivité: de quoi parle-t-on?

**P.14** Les différents types de radiothérapie pour le traitement des cancers

**P.14** Médecine nucléaire: et demain?

**P.15** Traitement ou diagnostic: à quelles doses de rayonnement s'expose-t-on?

**P.16** Secteur médical: des déchets pas comme les autres...

**P.17** ... et une gestion sur mesure

**P.18** Médecine nucléaire: dans les coulisses du service du CHRU de Nancy

**P.19** Curium: spécialiste des « radiopharmaceutiques »

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

**Les découvertes des rayons X puis de la radioactivité à la fin du XIX<sup>e</sup> 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

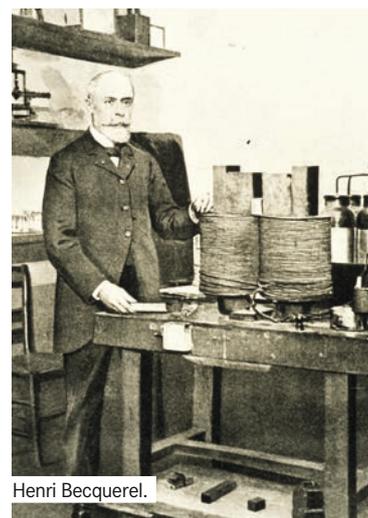
et chercheurs ont observé que le radium émettait des rayonnements de plus haute énergie que les rayons X, et permettait donc de cibler des tumeurs plus profondes. D'abord contenu dans des petits sachets en plastique et directement mis au contact de la peau pour soigner lésions et tumeurs, le radium est 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



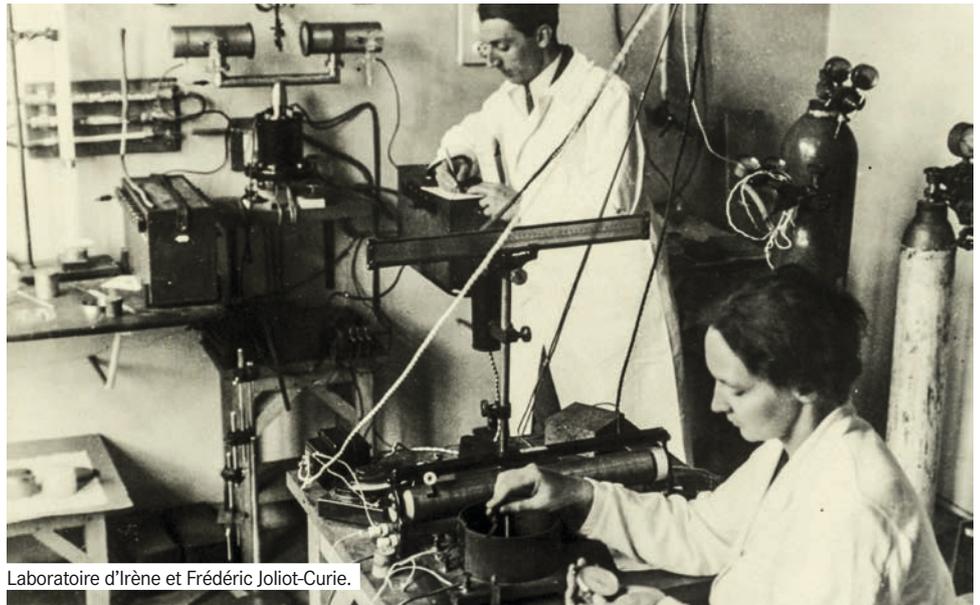
sodium radioactif comme traceur pour détecter les troubles thyroïdiens, puis ceux d'autres isotopes radioactifs comme le potassium et l'iode. Ce dernier s'est avéré très efficace pour détecter les maladies de la thyroïde mais aussi les traiter par radiothérapie *in vivo* (dans l'organisme vivant).

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,

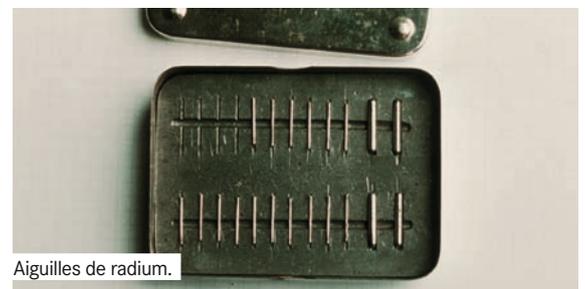


Laboratoire d'Irène et Frédéric Joliot-Curie.

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 <sup>99m</sup> 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 Radio<sup>1</sup>, « *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.

<sup>1</sup> 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.

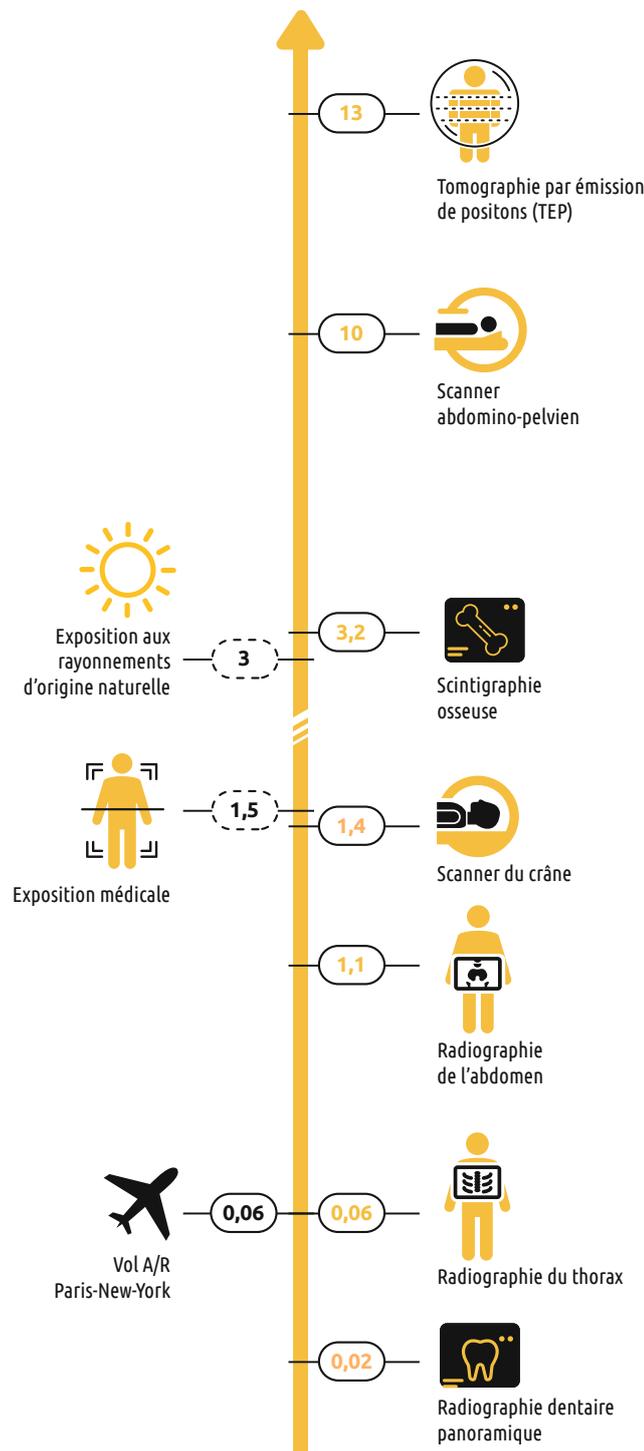
# Traitement ou diagnostic : à quelles doses de rayonnement s'expose-t-on ?

## 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 m<sup>3</sup>**

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



**2018 m<sup>3</sup>**

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 m<sup>3</sup>** 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 service du CHRU de Nancy

**Dans le service de médecine nucléaire du centre hospitalier régional de Nancy, on trouve du matériel et des technologies de dernière génération pour pratiquer la médecine nucléaire, ainsi qu'une unité de radiothérapie interne vectorisée (RTIV) agrandie et rénovée. Des installations modernes encadrées par des mesures strictes de radioprotection et de gestion des déchets, radioactifs afin de garantir aux patients un parcours de soins de qualité, en toute sécurité.**

C'est sur le site de Vandœuvre-lès-Nancy, au cœur des hôpitaux de Brabois, que le service de médecine nucléaire de la région accueille chaque jour une centaine de patients. « *Au quotidien, nous pratiquons en moyenne 50 examens TEP (tomographie par émission de positons) et la même proportion de scintigraphies. Et environ une dizaine de patients sont hospitalisés chaque semaine pour des radiothérapies internes* », détaille Anabelle Mathieu, conseillère en radioprotection (CRP) au sein du service.

Ici, les 60 manipulateurs, médecins nucléaires, radiopharmaciens, physicien, secrétaires et CRP bénéficient d'un vaste espace et d'appareils dernier cri pour prodiguer des soins de qualité. Au deuxième sous-sol du bâtiment principal, le service dispose en effet de trois caméras TEP numériques et de six gamma-caméras réparties dans des salles d'examen. Il accueille aussi un laboratoire de radio-immunoanalyse

(RIA)<sup>1</sup>. Et, plus haut, au 11<sup>e</sup> étage, il s'étend avec une unité dédiée à la radiothérapie interne vectorisée récemment agrandie et rénovée pour, si besoin, accueillir jusqu'à 14 patients traités pour des cancers de la prostate, de la thyroïde ou encore des tumeurs neuro-endocrines.

## Radioprotection: une attention permanente

« *Les chambres du secteur RTIV sont radioprotégées pour limiter le risque d'exposition du personnel, c'est-à-dire que les murs sont protégés par une épaisseur de plomb, explique Laetitia Imbert, physicienne médicale en charge de la radioprotection des patients. De la même manière, chaque salle où se trouvent des caméras TEP et gamma-caméras a des parois épaissies au plomb, car elles sont souvent couplées à des scanners. L'épaisseur d'équivalent plomb dépend des caractéristiques techniques de l'appareil, du nombre de patients examinés chaque jour ou encore des pièces voisines de la salle d'examen.* »

Et l'attention portée à la radioprotection ne s'arrête pas là. Tous les accès se font par badge ou digicode. « *À partir du moment où un membre du personnel (médical ou non) met un pied dans notre service, il doit être muni d'un dosimètre pour vérifier qu'il ne*

*s'expose pas à une radioactivité supérieure à la réglementation* », relate Anabelle Mathieu.

Pour garantir la radioprotection des patients comme des travailleurs, le personnel du service reçoit régulièrement des formations. « *Pour les travailleurs, nous réalisons et adaptons la formation aux besoins des métiers: on ne fait pas la même formation à un manipulateur qu'à une secrétaire médicale par exemple. En revanche, il y a des thèmes récurrents comme les différents types de rayonnements, l'utilisation des dosimètres ou encore l'effet des rayonnements ionisants sur les cellules* », raconte Emmanuel Rouyer, également CRP au sein du service. « *Pour la radioprotection des patients, c'est une autre formation. Elle sensibilise aux risques pour le patient. On explique comment les procédures d'imagerie sont optimisées, notamment par rapport aux médicaments radiopharmaceutiques qu'on injecte* », ajoute Laetitia Imbert.



Appareil d'imagerie médicale de type gamma-caméra.

“ **Au quotidien, nous pratiquons en moyenne 50 examens de Tep Scan et la même proportion de scintigraphies. »**

**Annabel Mathieu**

Personne compétente en radioprotection (PCR)

### Un circuit de gestion des déchets très spécifique

Le service s'appuie sur un plan de gestion très rigoureux, comme l'exige la réglementation, pour les déchets radioactifs à vie très courte (VTC) gérés en décroissance sur place, le temps que la radioactivité ait suffisamment diminué. Ainsi, par exemple, tous les patients sont invités à utiliser des toilettes dédiées afin que leurs effluents soient recueillis dans des cuves. « On distingue les patients qui ont fait une scintigraphie, ceux qui ont passé un TEP scan et ceux qui sont hospitalisés au 11<sup>e</sup> étage. Pour les premiers, majoritairement examinés avec un radiopharmaceutique contenant du technétium, nous avons trois cuves de 3 000 litres pour récupérer leurs besoins puis les traiter en décroissance. Pour la partie TEP, on récupère les urines dans des cuves d'une centaine de litres. Comme la période radioactive du FDG<sup>2</sup> (et autres radiopharmaceutiques à base de fluor 18) principalement utilisé lors des examens TEP est très courte, une vidange de la cuve est effectuée après 24 h de décroissance », précise Emmanuel Rouyer. Et pour les effluents liquides des toilettes situées dans les chambres du 11<sup>e</sup> étage, des canalisations spécifiques permettent de les acheminer vers le 2<sup>e</sup> sous-sol où ils sont stockés au



moins 180 jours dans sept cuves de 2 000 litres et 3 000 litres pour assurer la décroissance de leur radioactivité.

Aux locaux prévus pour stocker ces cuves s'ajoute un grand espace d'entreposage des déchets solides. On y trouve notamment tout le matériel ayant servi à la préparation des médicaments radiopharmaceutiques et à leur injection (papiers de protection, gants). « Ce sont des DASRI, déchets d'activité de soin à risque infectieux. Ils sont tous collectés et acheminés vers le local déchets chaque jour et font l'objet d'une gestion spécifique: s'il n'y a aucune activité radiologique résiduelle, les sacs sont mis dans le circuit de l'hôpital avec tous les autres déchets DASRI. En revanche, si on a une activité à l'intérieur de ces sacs, ils sont entreposés le temps de leur décroissance radioactive », explique encore Laetitia Imbert. Néanmoins, si l'ensemble des

“  
**À partir du moment où un membre du personnel (médical ou non) met un pied dans notre service, il doit être muni d'un dosimètre pour vérifier qu'il ne s'expose pas à une radioactivité supérieure aux seuils légaux.** »

**Annabel Mathieu**

déchets radioactifs liés aux activités d'imagerie et de radiothérapie interne du service de médecine nucléaire peuvent être gérés en décroissance en interne, puis évacués dans les circuits de gestion de déchets « classiques » une fois que la radioactivité a suffisamment diminué, certains déchets contaminés par des sources ayant une période de radioactivité supérieure à 100 jours doivent être pris en charge par l'Andra. « Le laboratoire de RIA accueille dans notre service utilise ainsi du cobalt 57 dont la période est d'environ 270 jours. Tous les déchets potentiellement contaminés sont donc mis dans des fûts réglementaires pour être ensuite collectés et gérés par l'Andra », ajoute Anabelle Mathieu. « Ici, rien n'est donc laissé au hasard en matière de radioprotection et de gestion des déchets radioactifs. »

— 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/>

1 La radio-immunoanalyse (RIA) utilise des radionucléides pour mesurer, à des fins de diagnostic, des concentrations infinitésimales de substances, telles les hormones, les vitamines et les médicaments, dans les fluides de l'organisme.

2 Fluorodésoxyglucose



# Curium: spécialiste des « radiopharmaceutiques »



Utilisation de produits radioactifs dans un laboratoire pharmaceutique.

**Sur son site de Nancy comme sur ses 11 autres sites français, Curium PET France produit des médicaments radiopharmaceutiques à visée diagnostique, livrés quotidiennement aux services de médecine nucléaire du Grand Est. Une activité essentielle qui demande des équipements et des mesures de radioprotection très spécifiques.**

Situé au cœur du centre hospitalier de Nancy Brabois, entre le bâtiment principal et l'Institut de cancérologie de Lorraine, le bâtiment occupé par Curium PET France<sup>1</sup> passe inaperçu par la plupart des patients et visiteurs. Pourtant, à l'intérieur, se trouve, sur près de 400 m<sup>2</sup>, une chaîne de production miniature dédiée à l'élaboration de radiopharmaceutiques utilisés pour diagnostiquer cancers et maladies neurodégénératives dans les services de médecine nucléaire de la région.

« Nous produisons uniquement des radiopharmaceutiques à base de fluor 18, un radioélément qui a une demi-vie ou période radioactive<sup>2</sup> de deux heures. Chacun des 12 sites de notre entreprise produit donc pour les hôpitaux et autres établissements de santé à l'échelle locale, puisqu'au-delà de quatre heures d'expédition, le produit que l'on injecte au patient n'a plus la radioactivité nécessaire pour identifier les potentielles tumeurs à l'aide d'un équipement d'imagerie médicale adapté, le tomographe par

émission de positons ou TEP scan », explique Anaïs Turck, pharmacien délégué sur le site de Nancy. Impossible donc de faire du stock en prévision. Ici, chaque jour, les six techniciens et deux pharmaciens élaborent une centaine de doses en fonction des commandes passées pour les examens d'imagerie du jour, puis les expédient aux services de médecine nucléaire de Nancy, Strasbourg, Metz, Maxéville, Epinal, Mulhouse ou encore Haguenau.

### L'effet cyclotron

Bien qu'équipés de pharmacies internes spécifiques pour préparer des radiopharmaceutiques, les services de médecine nucléaire ne disposent pas de cyclotron, un type d'accélérateur de particules. Or cet équipement est indispensable pour produire du fluor 18. Et son utilisation requiert des installations et des mesures de radioprotection particulières.

Dans le bâtiment de Curium à Nancy, le cyclotron est ainsi enfermé entre des murs de 2 mètres de largeur.

Car cet accélérateur de particules produit une réaction nucléaire qui transforme des éléments stables en radioéléments ou radio-isotopes. « En fonction des radiopharmaceutiques à produire, il faut entre 20 minutes et une heure et demie pour faire ce qu'on appelle la synthèse. Après quoi le produit arrive dans une "enceinte de répartition" où les techniciens répartissent dans des flacons de 15 ml les quantités commandées par les établissements, raconte Anaïs Turck. Pour ce faire, ils se placent derrière une vitre au verre plombé et utilisent des pinces de télémanipulation. »

Et les mesures de radioprotection prises sur le site de Curium ne se cantonnent pas à la production. Car les diverses opérations occasionnent des déchets radioactifs qui doivent être gérés en fonction de la radioactivité qu'ils contiennent. On trouve donc des récipients dédiés qui contiennent des déchets à vie très courte (VTC) (lire p.17), principalement les gants utilisés pour les contrôles qualité des produits, entreposés 48 h dans des locaux spécifiques pour assurer la décroissance de la radioactivité du fluor 18 avant de les évacuer. D'autres récipients dédiés permettent de gérer en décroissance durant 24 mois des pièces plastiques en contact avec les produits lors de la synthèse et contenant plusieurs radioéléments. Enfin, des fûts spécifiques contenant des déchets de très faible activité (TFA), solides pour les uns et liquides pour les autres, sont pris en charge par l'Andra. Car le cyclotron émet une telle intensité d'énergie qu'il active d'autres éléments dont la période de radioactivité est supérieure à celle du fluor 18. « Ainsi lorsque le fluor sort du cyclotron, il n'est pas complètement pur et passe par différentes cartouches de filtration où sont retenues les impuretés, précise Anaïs Turck. Ce sont notamment ces cartouches que l'Andra collecte et gère pour nous. » ●

<sup>1</sup> Curium PET France est membre du groupe international Curium.

<sup>2</sup> Temps nécessaire pour que la moitié des atomes d'une substance radioactive se désintègrent naturellement

INTERVIEW

# Du métro à Cigéo, quelles perspectives pour les grands projets ?

## Marie Baléo

Responsable des études et des publications  
La Fabrique de la cité



**Réseau autoroutier, métro du Grand Paris Express et futur centre de stockage géologique Cigéo: les grands projets rythment l'aménagement du territoire français, mais font aussi débat. Faut-il repenser leur approche? Marie Baléo, responsable des études et des publications du *think tank* La Fabrique de la cité jusqu'en 2021, a étudié la question et publié un rapport. Interview.**

**Pourquoi, selon vous, est-ce important de réaliser de nouveaux grands projets en France ?**

**Marie Baléo:** Protection de la planète, révolution numérique et transformation du travail, métropolisation, vieillissement démographique... Ces défis majeurs nécessitent de nouveaux équipements et infrastructures. Cela suppose d'importants investissements en matière d'infrastructures publiques, énergétiques et de mobilité, d'urbanisme ou de nouveaux logements.



Chantier du Grand Paris Express.

**Qu'est-ce qui explique aujourd'hui le climat de contestation des grands projets ?**

**M. B.:** Les causes sont multiples. Dans l'après-guerre, il fallait moderniser la France, mais le pays, aujourd'hui largement équipé, perçoit moins le besoin de grands projets. À cela s'ajoutent une crise de la démocratie, née notamment d'une défiance profonde vis-à-vis des institutions politiques, et une polarisation du débat public. Enfin, la préoccupation environnementale va croissant, conduisant parfois à contester par principe tout nouveau projet de grande ampleur.

**Quels sont les facteurs pour réussir un grand projet et surmonter les blocages dans le contexte actuel ?**

**M. B.:** Pour qu'un grand projet aboutisse, il faut en expliquer le besoin avec pédagogie et transparence. Une dimension nouvelle et fondamentale est la préoccupation environnementale, car l'opinion publique juge systématiquement les grands projets sur ce critère, en tenant compte des intérêts des générations futures.

**Est-ce qu'un grand projet comme Cigéo répond à ces facteurs de réussite ?**

**M. B.:** Tout à fait, car l'Andra a mené de nombreuses concertations locales et nationales, sans perdre de vue le développement socio-économique des territoires. En outre, le projet est par nature aiguillé par l'intérêt des générations futures. La solution de stockage retenue pour Cigéo a, par exemple, été préférée à l'entreposage de longue durée. Cela consiste à entreposer en surface

les déchets les plus radioactifs (HA et MA-VL) durant plusieurs siècles, en comptant sur les progrès techniques futurs pour résoudre la question de leur gestion. Cette stratégie aurait fait peser sur les prochaines générations la charge de la gestion définitive des déchets produits par les générations actuelles.

**Est-ce que Cigéo est un grand projet comme les autres ?**

**M. B.:** La charge symbolique liée à l'énergie électronucléaire, la peur et le rejet du nucléaire en général, rendent la pédagogie plus nécessaire encore. D'autant que les appréhensions que suscite le nucléaire sont à la mesure de l'incompréhension et de la méconnaissance dont il pâtit.

**Vous mettez en avant la réversibilité du projet dans votre rapport. Est-ce que ce principe est applicable à d'autres grands projets ?**

**M. B.:** La réversibilité offre à nos successeurs la possibilité de revenir sur nos choix au moins un certain temps. Même si elle reste l'apanage de la filière nucléaire, l'urbanisme éphémère, les équipements ou les bâtiments réversibles prévoient déjà, dès la conception, le démontage ou la déconstruction de l'ouvrage, ou son usage alternatif. ●



Accédez au rapport en ligne  
<https://bit.ly/36AguLD>



# Démonter les anciens paratonnerres, une affaire de spécialistes !

**Interdits à la fabrication et à la vente depuis 1987, d'anciens paratonnerres radioactifs peuvent encore être retrouvés sur nos toits. Lorsqu'ils sont identifiés, ces modèles peuvent être démontés. Une opération qui ne s'improvise pas ! Comment faire en pratique ? Explications.**

Seules des sociétés spécialisées, agréées par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), peuvent remplir cette mission délicate. Contactées par les particuliers ou les collectivités, elles prennent en charge toutes les phases de l'opération de dépose jusqu'à la prise en charge du colis de déchets radioactifs par l'Andra. Le démontage d'un paratonnerre radioactif n'est toutefois pas obligatoire\*. S'il ne menace pas de tomber ou s'il n'est pas en mauvais état, un paratonnerre radioactif ne représente aucun danger.

## Étape n°1 Une intervention bien sécurisée

Les techniciens spécialisés préparent leur intervention suivant un protocole bien défini. Ils enfilent un équipement de protection individuelle (EPI) à usage unique (combinaison soigneusement ajustée, lunettes et gants) et portent sur eux un dosimètre pour contrôler en temps réel la dose de radioactivité potentiellement reçue.

Ils sécurisent le périmètre en balisant au sol une zone interdite au public d'un rayon de 5 m.



## Étape n°2 Le démontage et la dépose, une phase délicate

Ils accèdent au toit au moyen d'une nacelle.

Ils procèdent au découpage du paratonnerre qui est descendu du toit. Les techniciens effectuent la totalité de cette opération à deux pour éviter de faire tomber le paratonnerre car il est lourd (20 kg environ).



\* Sauf si le bâtiment appartient à une installation nucléaire ou classée défense. Les particuliers, les communes ou les établissements publics qui demandent l'enlèvement d'un paratonnerre radioactif peuvent bénéficier d'une aide publique (uniquement pour la prise en charge finale du paratonnerre par l'Andra).

### Étape n°3 La préparation d'un colis de déchets radioactifs



Dans la zone d'intervention, ils procèdent aux mesures radiologiques de chaque composant du paratonnerre.

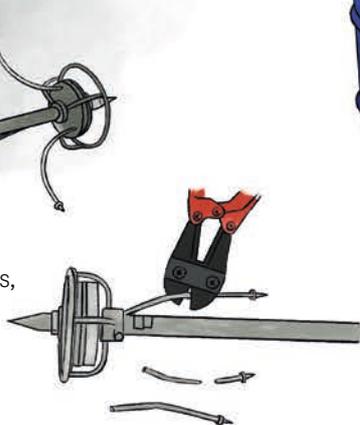


Ces éléments sont ensuite emballés dans de l'aluminium plastifié et conditionnés dans un fût homologué et étiqueté. Ce colis de déchets est prêt pour le transport.



Avant de partir, les techniciens vérifient qu'aucun élément radioactif ne subsiste sur la zone d'intervention et effectuent le nettoyage complet du site.

Puis les deux attaches du mât, la « tête » et les 3 tiges, appelées « moustaches », qui sont radioactives, sont découpées au sol.



### Étape n°4 En route pour l'entreposage

Le colis est transporté et conservé dans les locaux de la société d'intervention, jusqu'à son enlèvement par l'Andra.

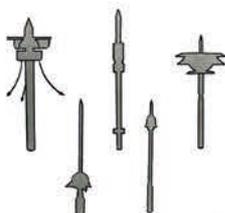


Le colis pris en charge par l'Andra part pour le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) dans l'Aube. Les têtes de paratonnerres radioactifs sont considérées comme des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL), une catégorie de déchets qui ne disposent pas aujourd'hui de solution de gestion à long terme. Elles sont donc entreposées temporairement dans un bâtiment dédié, au Cires, dans l'attente de la mise en œuvre d'une solution de stockage définitive.



### À quoi reconnaît-on un paratonnerre radioactif?

Ils ont plusieurs aspects. Tous comportent un risque de contamination en cas de contact physique. Risque toutefois limité en raison de leur positionnement, souvent très haut sur les toits.



### Cas particulier

« Quand le paratonnerre radioactif est en mauvais état et menace de tomber sur la voie publique, c'est une brigade du service départemental d'incendie et de secours (SDIS) spécialisée dans les risques technologiques qui intervient. Les équipes reçoivent pour cela une formation spécifique de la part de l'Andra. »



Pour retrouver en images l'exercice d'intervention du SDIS de l'Yonne chez un particulier en juillet 2021 : [https://youtu.be/zPRGpf0\\_rY8](https://youtu.be/zPRGpf0_rY8)



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 m<sup>2</sup> 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.

# Entre science et ingénierie: rencontre avec François Leveau

**François Leveau est ingénieur maîtrise d'œuvre scientifique au Centre de l'Andra en Meuse/Haute-Marne (CMHM). Derrière cet intitulé officiel, se cache une mission essentielle: trouver le parfait équilibre entre les besoins des scientifiques et les contraintes du Laboratoire souterrain de l'Andra, et orchestrer le travail des nombreux intervenants afin que les expérimentations menées pour préparer le projet de stockage géologique se fassent dans les meilleures conditions. Portrait**



François Leveau

« Je suis arrivé au Laboratoire souterrain de l'Andra en 2005, dans le cadre de mon stage de fin d'études de géologie auprès de l'entreprise Geoter (prestataire de l'Andra). Je n'en suis jamais reparti! » Ce stage est une belle occasion de revenir sur sa terre natale pour le jeune Troyen parti faire ses études à Reims puis à Bordeaux. En 2005, les puits d'accès au Laboratoire souterrain sont en cours de creusement. Le premier est achevé mais le deuxième n'a pas encore atteint le fond. « Je me souviens très bien de ma première descente à près de 500 m sous terre dans le deuxième puits. Nous étions quatre personnes chargées de faire des relevés géologiques sur une petite plateforme, dans un silence total. C'était très impressionnant. Il ne fallait pas être claustrophobe, mais ça m'a beaucoup plu. »

## Au plus près des forages

Pendant huit ans, toujours sous contrat avec Geoter, depuis intégré au groupe Fugro, François Leveau assure une partie du suivi géologique du site. « Mon rôle était de récupérer les carottes de roche extraites des forages, de les analyser pour décrire les phénomènes de fracturation liés au creusement des galeries. » Il devient un spécialiste des forages, nombreux dans le Laboratoire souterrain. Ils permettent d'observer la roche autour des ouvrages, d'en comprendre le comportement hydromécanique, ses propriétés de confinement, grâce à l'insertion de toutes sortes de capteurs. Des recherches et expérimentations importantes pour l'étude de Cigéo, le projet de stockage géologique des déchets radioactifs les plus dangereux.

« En 2013, quand l'un des ingénieurs maîtrise scientifique de l'Andra est parti à la retraite, j'ai postulé pour le remplacer, et j'ai été pris. » Il faut dire que François Leveau a plus d'un atout dans sa manche pour assurer cette nouvelle mission et intégrer l'Andra. Faisant partie des anciens, il connaît parfaitement le site qu'il a vu se développer au cours des années.



**J'ai la chance de travailler dans une infrastructure souterraine totalement exceptionnelle, d'être au service de mes collègues scientifiques. C'est très gratifiant. »**

## Un rôle charnière, entre deux mondes

Depuis huit ans, avec ses deux collègues de la maîtrise scientifique, il est chargé de faire en sorte que les expérimentations conçues par les scientifiques soient réalisées dans les meilleures conditions possible, qu'elles soient bien dimensionnées et positionnées. « Je ne suis spécialiste en rien, mais j'ai des connaissances dans tous les corps de métier. Cela me donne une vue d'ensemble des enjeux des uns et des autres. » François Leveau aime à se décrire comme un diplomate. « J'explique aux uns le but des expérimentations et aux autres les contraintes du site. » Et les intervenants sont nombreux: « Il y a ceux qui creusent les galeries, ceux qui réalisent les forages, ceux qui installent les capteurs, ceux qui analysent les échantillons, etc. Il faut tous les connaître et orchestrer avec précision les différentes interventions. »

Pour mener sa mission à bien, il discute, se fait photographe de terrain, réalise des schémas explicatifs, détaille chaque étape des expérimentations et rédige des cahiers des charges opérationnels. Grâce à François Leveau, science et ingénierie avancent main dans la main. « J'ai la chance de travailler dans une infrastructure souterraine totalement exceptionnelle, d'être au service de mes collègues scientifiques. C'est très gratifiant. »

En dix-sept ans de présence au CMHM, François Leveau ne s'est jamais ennuyé. « Il y a toujours de nouveaux défis à relever. Chaque jour est différent. » ●



Voir la vidéo de François Leveau  
<https://bit.ly/3Jz3FPV>



Pour aller plus loin: Connaissance du milieu géologique du projet Cigéo: 30 ans d'expertise  
<https://bit.ly/3hLfxSQ>



Les dessous du Labo, 20 ans au cœur de l'argile  
<https://bit.ly/373lxUB>



# Clis: les chantiers du nouveau président

Jean-Louis Canova



**Le comité local d'information et de suivi du Laboratoire de Bure (Clis) a un nouveau président. Rencontre avec un élu de terrain qui prend ses fonctions dans une période importante pour le projet Cigéo.**

<sup>1</sup> Désigné par arrêté conjoint des présidents des conseils départementaux de Meuse et de Haute-Marne daté du 9 novembre 2021, Jean-Louis Canova est également maire d'Ancerville, vice-président de la communauté de communes des Portes de Meuse, conseiller départemental de la Meuse délégué à Cigéo. C'est son 2<sup>e</sup> mandat à la tête du Clis (premier mandat en 2008-2014).

<sup>2</sup> Cet observatoire unique en France sera suivi dans le temps par un conseil scientifique de cinq personnalités européennes : deux épidémiologistes, une toxicologue, une sociologue et un ancien inspecteur général des affaires sociales.

Depuis fin 2021, il est le nouveau président du Clis<sup>1</sup>. Les missions du comité, son actualité, les ambitions de son 2<sup>e</sup> mandat ? On fait le point avec lui.

## Quel est le rôle du Clis, ses missions ?

Le Clis est chargé de suivre les activités de l'Andra en Meuse/Haute-Marne. Il informe la population sur les recherches et les résultats obtenus. Divers supports sont utilisés : site internet, page Facebook, lettre d'information... L'Andra nous fournit toutes les nouvelles données, elle joue le jeu. Nous faisons aussi réaliser des études auprès de cabinets d'experts indépendants.

## Quels sont les travaux du Clis, actuels et à venir ?

Un de nos chantiers majeurs du moment, c'est OSaRiB<sup>2</sup>, un observatoire destiné à suivre sur le long terme l'état de santé des riverains

de Cigéo. Première étape en 2022 : un portrait du territoire qui servira d'état zéro pour en étudier ensuite les éventuelles évolutions. Nous allons aussi être pleinement mobilisés par la demande d'autorisation de création (DAC) de Cigéo.

## Vos objectifs et vos ambitions pour ce nouveau mandat ?

Nous allons lancer une étude sur les interactions des matériaux dans les galeries. La commission « localisation » va aussi être renforcée. Le projet Cigéo, c'est aussi les routes, l'eau, l'électricité, la voie de chemin de fer, le développement territorial : des sujets qui concernent le quotidien des habitants. ●



Toutes les infos sur le site [www.clis-bure.fr](http://www.clis-bure.fr)  
Ou à la permanence du Clis à Bure :  
Rue des Ormes - Le Lavoir  
Tél. : 03 29 75 98 54

## CONCERTATION

# Déviations RD 960: un sujet partagé

**Du 31 janvier au 11 mars, le département de Haute-Marne a recueilli l'avis du public sur le projet de déviation de la route départementale 60/960. Trois variantes de tracés étaient proposées.**



La construction de Cigéo, si elle est autorisée, rend nécessaire la déviation de cette route. Objectif : éviter sa coupure sur 1,5 kilomètre par la zone descendrière, entre Saudron et Mandres-en-Barrois. Le département de Haute-Marne, qui conduit le projet, a invité les riverains à exprimer leur avis sur trois options de tracés à l'étude.

## Tracé de proximité ou tracés élargis ?

Au stade actuel, le tracé qui longe la zone descendrière semble être l'option privilégiée. D'une longueur d'1,8 kilomètre seulement, c'est le tracé qui n'affecte pas la circulation locale. Il est le moins coûteux et celui qui a le plus faible impact sur

l'environnement. La seconde option présentée propose un tracé élargi vers le nord qui permet de contourner Saudron, la zone descendrière et la ferme du Cité. Longue de 4,2 kilomètres, elle nécessite la construction d'un pont pour franchir la vallée de l'Orge et la RD 175A, ce qui engendre un coût plus élevé.

La troisième option, avec un tracé élargi vers le sud, est la plus onéreuse et la plus impactante sur le plan environnemental. Longue de 5,7 kilomètres, elle nécessite la construction de trois ponts pour franchir la vallée de l'Orge, la voie ferrée et la liaison intersites de Cigéo.

Le conseil départemental prendra en compte cette concertation pour finaliser les études de la déviation. ●

INTERVIEW

# « Un récit et des images pour traverser le temps » : Juliette Nier entre en résidence artistique au Signe



**Juliette Nier**  
Designer graphique

**De quelle manière informer les générations futures de la présence des centres de stockage et de la dangerosité des déchets radioactifs sur de longues périodes de temps? Deux ans après Charles Gautier et Sébastien Noguera qui ont réfléchi à une signalétique à long terme, une nouvelle résidence artistique « Prospectives graphiques » a démarré au Signe, à Chaumont, en mars 2022: la designer graphique Juliette Nier y explore pendant 5 mois les outils graphiques pour mettre en place un parcours d'apprentissage et expliquer la présence de déchets radioactifs. Rencontre.**

**Pouvez-vous vous présenter et nous expliquer ce qu'est le design graphique?**

Je suis designer graphique indépendante depuis trois ans et demi, après un diplôme des Arts décoratifs de Paris. J'y avais fait un projet d'études sur les récits oraux et la façon de les illustrer, de les faire vivre, avec des images et des objets manipulés. Être designer graphique, c'est aussi ça, réfléchir à des outils visuels et

à leurs usages. Dans le cadre de cette résidence artistique, j'aurai 5 mois pour poursuivre dans cette voie, en réfléchissant à la façon de « raconter » Cigéo avec des techniques visuelles.

**Vous connaissez bien la problématique des déchets radioactifs?**

Non, j'en sais autant que le grand public qui en a entendu parler mais n'a pas eu l'occasion de réfléchir précisément aux enjeux. Mais je connaissais Cigéo pour avoir été en résidence à Rachecourt, en Haute-Marne, avec une classe de primaire. J'ai postulé à cette résidence parce que le sujet de recherche proposé par le Signe et l'Andra correspond à ce qui m'intéresse: utiliser des techniques visuelles pour raconter le monde. Le projet Cigéo notamment pose la question de la transmission d'un message sur des milliers d'années, défi passionnant pour un designer graphique (lire encadré).

**Il y a tout de même là une dimension très scientifique...**

Oui, et il a fallu que je m'en imprègne au départ car c'est un sujet nouveau pour moi, et très technique. Le défi est de réussir à transmettre au-delà de la science et de la technique, un récit de Cigéo, une sorte de « mythologie » sur laquelle bâtir ensuite des

représentations graphiques, des signes, des images... compréhensibles par les générations futures.

**Comment travaillez-vous durant ces 5 mois?**

J'ai commencé par rédiger un court récit qui expose pourquoi on envisage de stocker ces déchets en profondeur, mais aussi comment et pourquoi ils ont été produits en tout premier lieu. Depuis, je travaille à une mise en images de ce récit, de cette trame, sur le même principe que ce que j'ai déjà pu faire avant, mais en créant ici des images qui se comprennent sans récit oral. Quoique le propre d'une mythologie soit justement d'allier récit et images pour traverser le temps! À suivre... ●

## Infospratiques

Centre national du graphisme  
1 place Émile Goguenheim  
52000 Chaumont



Construire la mémoire de Cigéo: pourquoi et comment? Une webconférence à revivre sur la chaîne YouTube de l'Andra.  
<https://bit.ly/3sRkMqI>



## Transmettre la mémoire de Cigéo, c'est défier le temps

— Les déchets qui seront stockés dans Cigéo, si celui-ci est autorisé, resteront radioactifs jusqu'à des centaines de milliers d'années pour certains. Même si Cigéo est conçu pour être sûr à très long terme, sans intervention humaine, et que l'oubli est envisageable au-delà de quelques siècles sans conséquences importantes, l'Andra travaille aux moyens d'informer les générations futures le plus longtemps possible. Comment s'assurer que le message que l'on souhaite transmettre sera lisible et compréhensible pour eux? Quel support pour résister à l'épreuve du temps? Autant de questions qui font partie des réflexions menées par l'Andra en collaboration avec des chercheurs mais aussi des artistes...

# Partenariat avec l'Institut mondial d'art de la jeunesse: faire rimer art et mémoire

Depuis quinze ans, l'Andra parraine l'Institut mondial d'art de la jeunesse (IMAJ) – Centre pour l'Unesco Louis François de Troyes. Un véritable travail de coopération, ancré dans le territoire et qui met l'art au service de la mémoire.

## Miche Girost

Président de l'Institut mondial d'art de la jeunesse – Centre pour l'Unesco



« L'Andra s'implique véritablement à nos côtés », se félicite Michel Girost, président de l'IMAJ. Il faut dire que l'Agence et l'association ont bien des valeurs communes...

La transmission de la mémoire d'abord, celle des centres de stockage pour l'Andra, et celle des productions artistiques de la jeunesse actuelle pour l'association auboise. C'est ainsi que l'Andra a participé au financement de la numérisation des œuvres des quelque 116 000 dessins d'enfants de 150 pays accumulés en trente ans d'existence du concours international « Graines d'artistes du monde entier », ainsi qu'à l'exposition annuelle des lauréats à Troyes. L'objectif était de créer une artothèque mondiale « Mémoires du futur® ».

« Michel Girost et l'association sont membres du groupe "Mémoire" de l'Aube. L'objectif de ces groupes est de réfléchir à la transmission de la mémoire des sites de l'Andra », rappelle Anne-Sophie Levert, responsable communication à l'Agence. L'insertion territoriale ensuite, grâce à des actions qui permettent aux

enfants à proximité des centres de l'Aube de bénéficier d'ateliers de pratique artistique et de découverte du patrimoine local. Le concours photo « Capture ton patrimoine industriel » met, quant à lui, autant l'accent sur cette dimension locale que sur les aspects mémoriels.

## Une collaboration au long cours

En 2022 et 2023, le parrainage va permettre de coorganiser un cycle de conférences sur le thème de l'art et la mémoire. Les ateliers d'éveil artistique à destination des primaires vont, eux aussi, se poursuivre. « Nous envisageons également une exposition sur mesure avec l'artothèque, en lien avec le volet mémoire de l'Andra, à présenter dans nos centres ou à proximité », ajoute Anne-Sophie Levert. « L'Andra est le partenaire avec lequel nous avons le plus de proximité », n'oublie pas d'ajouter Michel Girost.

« Petit, je dessinais, je travaillais le bois, je réalisais des sculptures, encouragé par mon père, menuisier ébéniste, et par mon instituteur. » Mais à 30 ans, à l'occasion d'une visite chez sa mère dans la commune où il fut écolier, Michel Girost découvre que tout a été jeté lors du départ à la retraite de son instituteur. « Ce fut un choc. Même si les adultes disent que ce que font les enfants est merveilleux, il n'en reste jamais rien. C'est une part importante de nos vies qui s'efface. » Nous sommes en 1980 et Michel Girost s'engage en tant que bénévole dans le jeune Cercle Unesco de Troyes qu'il va profondément transformer. Ainsi, dès 1993, le concours de dessin départemental devient un événement international. « En 1995, après quatre ans d'instruction, nous sommes devenus l'un des douze centres pour l'Unesco du monde, le premier en France. »



## Infatigable défenseur de la mémoire du futur

Avec pour mission d'« inscrire l'enfance et la jeunesse dans la mémoire de l'humanité », l'association, rebaptisée Institut mondial d'art de la jeunesse – Centre pour l'Unesco en 2019, a développé de multiples activités: concours de dessins, de photos, de poésie, ateliers de pratiques artistiques et culturelles qui touchent chaque année un millier d'enfants dans l'Aube, expositions, artothèque... Michel Girost décrit chacun de ces chantiers avec passion et ne cesse de vanter la dimension collective de ces actions, mises en place grâce aux salariés, aux bénévoles, aux artistes locaux qui interviennent dans les écoles, mais également grâce aux étudiants, aux services civiques et aux partenaires qui soutiennent l'association.

Désormais retraité, Michel Girost passe toutes ses après-midi à l'association, pour laquelle il ne manque pas de projets et voit également grand pour sa ville. « Nous sommes en discussion avec le conseil départemental de l'Aube, qui a acheté un domaine au cœur de Troyes, qui pourrait nous accueillir afin de créer un véritable musée, une académie de pratiques artistiques, un département de relations internationales ainsi qu'un centre de recherche. » Ainsi, les dessins d'enfants ne seront plus jamais oubliés et la mémoire du futur, préservée. ●



Pour aller plus loin:  
<https://bit.ly/3uwhmKk>



**Même si les adultes disent que ce que font les enfants est merveilleux, il n'en reste jamais rien. C'est une part importante de nos vies qui s'efface. »**

#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



**Tristan,**  
étudiant en mastère spécialisé en gestion  
traitement et valorisation des déchets  
(École des mines de Nancy)

**« C'est la première fois que je visite les installations de l'Andra. Je suis ingénieur en industrie, j'ai l'habitude des grosses infrastructures... mais que ce soit le Laboratoire ou le projet Cigéo, on est sur des dimensions impressionnantes ! La gestion des déchets radioactifs fait partie de notre cursus et nous avons déjà eu une sensibilisation à la problématique. La visite est très intéressante et aide à mieux comprendre ce sujet complexe. »**



Vous aussi, vous souhaitez mieux comprendre la gestion des déchets radioactifs ?

Contactez-nous au **03 29 75 53 73** ou par mail à **visite.55.52@andra.fr**



Savez-vous ce que représente cette scène?  
La réponse sur <https://bit.ly/36Ualoi>



# Exposition

## 13 mars > 05 septembre



# SECRETS *d'abeilles*

Visite gratuite de 14h à 18 h  
les mercredis et dimanches

Animations et ateliers  
du mercredi au dimanche  
du 10 au 24 avril et en juillet-août

Renseignements sur  
[meusehautemarne.andra.fr](http://meusehautemarne.andra.fr)  
et 03 29 75 53 73

Centre de l'Andra en Meuse/Haute-Marne  
RD 960 – 55290 Bure

