



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



PRINTEMPS-ÉTÉ 2024 N° 48

le Journal de l'Andra

— ÉDITION MANCHE



P.10

**Radioactivité
et radioprotection :**
les rayonnements
sous contrôle

Sommaire

en bref

P.4 Arrivée de Jacques Schlaefflin, en charge de la sécurité

P.4 danslesmédi
L'incroyable destin de Marie Curie



P.5 Les Voiles écarlates : nouveau partenariat, nouveaux projets

P.5 Entre voisins : visite du comité de direction Orano La Hague

tableau de bord

P.6 Check-up complet pour les piézomètres

territoire

P.7 Cet été, remuez-vous les méninges au Centre de stockage de la Manche !

P.8 Zoom sur la faune du CSM



dossier



P.10 Dossier

Radioactivité et radioprotection : les rayonnements sous contrôle

P.11 La radioactivité, invisible... et omniprésente !

P.11 Les unités de mesure de la radioactivité

P.12 Radioactivité : quelle exposition pour quels effets ?

P.12 Les dates clés de la radioprotection

P.14 Radioprotection : se protéger des radiations

P.15 Dans les coulisses des centres industriels de l'Andra

P.17 Bientôt un indicateur de la nocivité des déchets radioactifs ?

portrait

P.18 Maëva Quouillault, chercheuse de solutions pour déchets « hors normes »

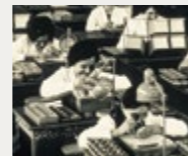
l'invité

P.19 Entretien avec Dominique Le Guludec, nouvelle présidente du Comité éthique et société

décryptage

P.20 Relance du nucléaire : quels impacts sur la gestion des déchets radioactifs ?

P.22 Terres « Bayard », l'heure du dernier voyage



P.24 Gestion des déchets radioactifs : l'Espagne affine ses choix

reportage

P.25 Entreposage des déchets les plus radioactifs : dans les coulisses du site Orano La Hague

entre nous

P.26 #On vous répond
Que deviennent les déchets végétaux issus de la tonte du CSM ?

P.26 #Ils sont venus nous voir

P.27 Photomystère

LE POINT DE VUE DE CHEREAU Éclairage scientifique



Les dangers que peut présenter la radioactivité sont aujourd'hui bien connus. Mais cela n'a pas toujours été le cas ! Revivez en pages 22-23 l'histoire de la société Réveils Bayard, l'un des fleurons français de l'horlogerie du xx^e siècle qui utilisait de la peinture au radium. Des terres contaminées provenant de son ancienne usine en Normandie sont aujourd'hui prises en charge sur les centres de l'Andra dans l'Aube. Découvrez également en page 10 notre dossier consacré à la radioprotection.

1,6 million

C'est le nombre de vues de la vidéo *Lettre aux générations futures* réalisée par l'Andra dans le cadre de sa campagne institutionnelle en 2023. Elle met en scène des salariés de l'Agence qui s'adressent à ceux qui ne sont pas encore nés, témoignent de leur engagement et donnent à tous un message de confiance en l'avenir.



Parution des rapports d'information 2023

La dernière édition des rapports d'information du Centre de stockage de l'Aube (CSA), du Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) et du Centre de stockage de la Manche (CSM) vient de paraître. Ces documents grand public présentent notamment les données en matière de radioprotection, de sûreté, de sécurité et les résultats des analyses menées sur l'environnement. Disponibles sur : manche.andra.fr (rubrique « Ressources »), ou par voie postale sur demande à : dialogue@andra.fr.

Erratum

Une erreur de code couleur s'est glissée dans les légendes des graphiques en page 16 du Journal de l'Andra n° 47. Dans le premier schéma, les couleurs des secteurs d'activité « Recherche » et « Médical » ont été interverties, ainsi que celles des secteurs « Défense » et « Industrie non électronique ». Idem pour les couleurs des catégories FMA-VC et TFA dans le second schéma. L'ensemble des chiffres restent exacts. Merci aux lecteurs attentifs qui nous ont signalé cette erreur.

Arrivée de Jacques Schlaefflin, en charge de la sécurité

L'équipe du CSM se renforce, et une des missions occupées précédemment par Guy-Roland Rapaubya s'est vue confiée à Jacques Schlaefflin, qui occupe désormais le poste de chargé d'affaires Sécurité du site, depuis le 1^{er} mars dernier. Nouvel arrivant dans la région, Jacques Schlaefflin connaît bien l'Andra puisqu'il a travaillé près de quinze ans au Centre de Meuse/Haute-Marne, où il a été successivement responsable Santé et Sécurité, conseiller du directeur du site dans le domaine de la prévention et enfin chargé de mission Sécurité. Il avait précédemment piloté des politiques santé et sécurité d'entreprises telles que Naval Group,

Veolia, Sita et Coverland, tant au niveau des usines que sur le plan régional et national. Désormais responsable de la sécurité des personnes et des biens du CSM, Jacques Schlaefflin s'occupera de la mise en œuvre des plans d'action issus de la politique Prévention Sécurité du CSM, de la veille réglementaire et de la gestion des aspects humains et matériels de la protection physique du PC Sécurité. ●



dans les médias

L'incroyable destin de Marie Curie

Si le nom de Marie Curie est bien connu du grand public, la richesse de sa vie demeure largement insoupçonnée. Une vidéo récemment publiée sur la chaîne de vulgarisation scientifique « Antoine vs Science » (YouTube) met en lumière ce destin exceptionnel, en mêlant explications scientifiques, documents d'archives et photos anciennes. Un support pédagogique accessible à tous, qui permet d'en apprendre davantage sur la femme qu'était Marie Curie, mais également sur la radioactivité en général et sur l'une des missions de service public de l'Andra : l'enlèvement gratuit des objets radioactifs et l'assainissement des sites anciens pollués par la radioactivité. La vidéo rappelle ainsi que l'Agence collecte chaque année une centaine d'objets radioactifs datant de la période des « années folles » du radium, retrouvés par des particuliers, généralement à la suite d'un héritage. ●



Marie Curie accompagnée de deux scientifiques à Pittsburgh, lors de sa visite aux États-Unis en 1921.



Les Voiles écarlates : nouveau partenariat, nouveaux projets

Le 3 juillet, la petite île de Tatihou, au large de Saint-Vaast-la-Hougue, connaîtra une journée particulière... Encadrés par les bénévoles de l'association Les Voiles écarlates, de jeunes Cherbourgeois en réinsertion vont la nettoyer intégralement. Plusieurs collaborateurs de l'Andra se joindront à eux.

Cette opération « Ports propres, mains propres » marquera en effet les 10 ans du partenariat entre l'Agence et l'association, qui prévient la délinquance juvénile avec un outil exceptionnel : la *Croix du Sud III*, un langoustier à voile mis à l'eau en 1934. « On peut se rebeller contre l'autorité, pas contre la mer, explique Gérard Bourdet, son président-capitaine. Depuis 1997, plus de 2 300 jeunes sont montés à bord et certains y ont retrouvé le nord, comme

Étienne, devenu marin-pêcheur et qui me succédera bientôt comme capitaine. Quelle plus belle image de la confiance que se doivent les générations ? »

À l'occasion de cet anniversaire, l'Andra renouvellera son engagement pour deux ans, en lien avec sa charte des parrainages, qui comporte un axe solidarité et cohésion sociale. « Il y a toujours à faire sur un vieux gréement : changer une voile, remplacer le moteur ou calfater le pont, notre prochain gros chantier. Il faut aussi payer les assurances, la place de port, la nourriture de l'équipage... C'est pourquoi nos deux partenaires stables, l'Andra et la Ville de Cherbourg-en-Cotentin, sont si précieux. Ils partagent avec nous le sens de la durée dans l'action », conclut Gérard Bourdet. Rendez-vous dans dix ans pour les 100 ans de la *Croix du Sud III* ! ●



Entre voisins : visite du comité de direction Orano La Hague



comité de direction sur le site de l'Andra, après avoir visité les installations du centre. Ils ont ainsi pu découvrir leur propre site sous un autre angle, depuis les hauteurs de la couverture du CSM !

Cette journée a également été l'occasion d'échanges avec l'équipe de l'Andra sur les sujets communs aux deux sites. En effet, de par leur histoire et leur proximité géographique, les sites Orano et Andra partagent des équipements tels qu'un bassin d'orage ou encore une convention pour encadrer le passage des rejets liquides du CSM via la canalisation de rejets en mer d'Orano La Hague.

S'ils passent tous les jours devant les grilles du Centre de stockage de la Manche, peu d'entre eux avaient eu l'occasion de s'arrêter et de visiter le site. C'est chose faite depuis le 17 mai dernier : la direction du site Orano La Hague a exceptionnellement organisé son

« À la création du CSM, nos deux sites faisaient partie d'une seule et même entité : le CEA. Depuis, nous formons deux entités bien distinctes, mais nos équipements gardent la trace de ce lien passé. C'est la raison pour laquelle j'ai souhaité que les membres de mon équipe puissent mieux connaître les installations de l'Andra », indique Stéphanie Gaiffe, directrice d'Orano La Hague.

Check-up complet pour les piézomètres

Le diagnostic des piézomètres du Centre de stockage de la Manche (CSM) s'est achevé en 2023. Objectif : vérifier leur état pour garantir leur bon fonctionnement. En voici les principales conclusions.



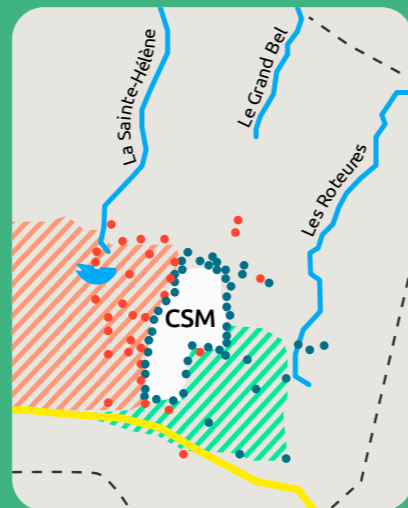
UN OUTIL DE SURVEILLANCE

Le CSM compte 60 piézomètres installés sur et autour du centre. Il s'agit de forages servant à mesurer la hauteur d'eau de la nappe souterraine en un point précis et à réaliser des prélèvements pour procéder à des analyses chimiques et radiologiques, afin de surveiller d'éventuels impacts du stockage sur l'environnement.



60 piézomètres

39 dans l'enceinte du CSM et 21 installés hors du site.
 Profondeur moyenne : entre 20 et 50 m.
 Diamètre moyen : entre 10 et 15 cm.



UNE CAMPAGNE EN PLUSIEURS ÉTAPES

Le diagnostic s'est déroulé en trois étapes : d'abord pour les piézomètres externes au CSM (2021), ensuite une première moitié des piézomètres internes au CSM (2022), et enfin la seconde moitié des piézomètres internes (2023). Chaque ouvrage a été ouvert, inspecté visuellement et, à l'aide d'une caméra, sondé pour mesurer la profondeur et le niveau d'eau, photographié et enfin refermé. À l'issue de ces inspections, un programme de travaux et d'entretien a été proposé.

1989-1994

Réalisation de 60 piézomètres

2021-2023

Diagnostic en trois étapes (piézomètres externes au CSM en 2021; première moitié des piézomètres internes au CSM en 2022; seconde moitié des piézomètres internes en 2023)



LES PRÉCONISATIONS ISSUES DU DIAGNOSTIC

Pour l'ensemble des piézomètres

- Retrait et remplacement de tubes de prélèvement pouvant être tombés en fond de forage.
- Préconisation de nettoyages à réaliser dans certains forages pour réduire leur colmatage.
- Édition de procédures de maintenance et d'entretien

avec une inspection annuelle et un diagnostic approfondi tous les 10 ans.

Spécifiquement pour les piézomètres situés à l'extérieur du CSM

- Pose d'une plaque signalétique pour tous les ouvrages pour mieux les identifier.

- Fermeture définitive d'un piézomètre en raison de la trop forte concentration dans le sol d'éléments ferreux. Ce piézomètre sera remplacé par un nouveau situé quelques mètres à côté.
- Amélioration de l'étanchéité de la dalle de couverture d'un des piézomètres situé à proximité d'une route.



Cet été, remuez-vous les méninges au Centre de stockage de la Manche !

En plus de ses traditionnelles visites, le Centre de stockage de la Manche (CSM) organise tout l'été des escape games, un jeu interactif où les visiteurs deviennent les héros. Une idée de sortie originale et gratuite, accessible à tous, pour découvrir les activités du premier centre français de stockage de déchets radioactifs.

Si vous avez la bonne idée de passer vos vacances en famille dans le Cotentin, voici une nouvelle expérience ludique à vivre le temps d'un après-midi.

gestion, ainsi que les installations de contrôle du centre et de son environnement.

Un public toujours plus nombreux

Rendez-vous au CSM le jeudi à 14 h, où vous pourrez vous voir confier une mission pour sauver un personnage tout droit venu de l'an 2500. Pour cela, vous aurez à résoudre des énigmes à l'aide d'indices placés dans les installations du centre afin de décoder le message secret. Sans même vous en apercevoir, vous aurez tout compris de l'activité de surveillance que l'Andra doit assurer sur le site... pendant plus de trois siècles !

L'Andra organise ces visites dans le cadre de sa mission d'information sur la gestion des déchets radioactifs et de dialogue avec le public. Le programme est donc bien rodé et il attire un public toujours plus large. En 2023, le CSM a même connu un record de fréquentation avec 2 224 visiteurs – soit 700 de plus qu'en 2022 –, dont 580 vacanciers durant la période estivale. Avec l'escape game, ce record devrait être à nouveau battu cet été.

Tout l'été, vous pourrez également opter pour une visite plus classique du site organisée chaque mardi. Vous découvrirez alors les missions de l'Andra, l'histoire et l'actualité du CSM, des déchets radioactifs et de leur

C'est sur le site Internet de l'office du tourisme du Cotentin qu'il faut réserver sa visite et/ou son escape game. Car, bien sûr, vous pouvez faire les deux ! Et même revenir pendant les vacances d'automne, durant lesquelles le programme sera reconduit ! ●

Informations pratiques

PÉRIODE

Du 09 juillet au 29 août, à 14 h tous les mardis pour les VISITES GUIDÉES, et tous les jeudis pour les ESCAPE GAMES.

DURÉE

Prévoyez environ 2 h pour les visites guidées et environ 1 h 15 pour les escape games. La séance du jeudi 15 août, férié, est exceptionnellement reportée au 16 août, au même horaire.

INSCRIPTION

Réservez vos places sur la billetterie de l'office du tourisme du Cotentin www.encotentin.fr

RENSEIGNEMENTS

Contactez l'Andra au numéro Azur 0810 120 172

Zoom sur la faune du CSM

Dans le cadre du plan de surveillance de l'environnement, le Centre de stockage de la Manche (CSM) fait régulièrement réaliser des inventaires des espèces animales vivant à proximité du site. Zoom sur quatre espèces représentatives, repérées lors de la dernière observation, faite en 2023.

INSECTES

41 espèces d'insectes ont été recensées, dont trois sont considérées comme « patrimoniales », c'est-à-dire rares, menacées ou proches de l'être. C'est le cas de l'hespérie du chien-dent.

Hespérie du chien-dent

Du nom latin *Thymelicus acteon*, c'est un lépidoptère, le plus petit des papillons orange d'Europe.

L'hespérie du chien-dent a une tête massive et des antennes largement séparées à la base. Dessus, on trouve des ailes fauve obscur avec des taches noires chez le mâle et orange sur l'aile antérieure chez la femelle.

L'espèce est présente de l'Europe centrale au Maghreb et au Proche-Orient, du niveau de la mer à 1 300 m d'altitude. Elle privilégie les milieux ensoleillés et nécessite la présence d'herbes hautes, en particulier en hiver et au printemps.

Les observations se sont faites de nuit et l'hespérie du chien-dent a été identifiée sur des bandes herbacées richement fleuries, associées à des formations végétales semi-ouvertes, en bordure de voirie à proximité du CSM.

L'espèce est quasi menacée au niveau européen, car liée à des habitats spécifiques, rare et localisée dans la partie occidentale de la Normandie.



AMPHIBIENS

Sept espèces d'amphibiens ont été recensées, dont le triton alpestre.

Triton alpestre

Du nom latin *Ichthyosaura alpestris*, c'est une espèce d'urodèles (amphibien à corps allongé) de la famille des salamandridae.

Il doit son nom *alpestris* (alpestre) au fait qu'il se rencontre à haute altitude : on le répertorie du niveau de la mer à 2 500 m d'altitude dans les régions tempérées d'Europe.

Les observations se sont faites de nuit sur différents milieux aquatiques au sein de l'aire d'étude rapprochée. On note que les espèces recensées accomplissent leur cycle biologique complet dans cette aire. Différents types de milieux aquatiques permettent la reproduction des amphibiens : une mare dans un secteur de cultures avec haies bocagères au nord du site, plusieurs bassins artificiels dans la zone d'activité ou encore des retenues et plans d'eau dans un boisement au sud du centre.



MAMMIFÈRES

12 espèces ont été recensées, dont quatre sont considérées comme « patrimoniales », c'est-à-dire rares, menacées ou proches de l'être. C'est le cas de l'hermine.

Hermine

Du nom latin *Mustela erminea Linnaeus*, c'est un mammifère de la famille des mustélidés (du latin *mustela* signifiant « belette »), qui doit son nom courant au latin *armenius mus*, « rat/souris d'Arménie ». L'hermine ressemble beaucoup à la belette d'Europe. Elle est en moyenne un peu plus grande, mais le moyen le plus sûr de les distinguer reste l'extrémité noire de la queue de l'hermine.

L'espèce n'a pas été observée directement au cours des prospections mais est considérée comme présente à proximité du CSM grâce à l'identification de traces de sa présence. On la trouve dans les habitats comportant des zones embroussaillées et autres abris. Des secteurs favorables ont été localisés dans la partie nord du centre (ensembles bocagers et semi-ouverts, landes, friches).



REPTILES

Cinq espèces ont été recensées, dont trois sont considérées comme « patrimoniales », c'est-à-dire rares, menacées ou proches de l'être. C'est le cas du lézard vivipare.

Lézard vivipare

Du nom latin *Zootoca vivipara*, c'est une espèce de sauriens communément appelés « lézards ».

Elle vit au sol dans des milieux divers mais dont l'eau n'est jamais absente : broussailles, tourbières, fossés et milieux un peu plus pierreux en altitude, milieux favorables à cette espèce peu exigeante.

La tête est petite, le cou et la queue sont épais, les pattes plutôt courtes, la couleur est brune, très variable, avec surtout chez les femelles des bandes latérales sombres.

Comme son nom « vivipare » l'indique, les femelles mettent au monde des jeunes entièrement formés : elles sont en fait ovipares et leurs œufs éclosent à l'intérieur de leur corps.

Lors des inventaires de terrain, trois contacts ont été identifiés à proximité du CSM : deux juvéniles sur des friches et des espaces verts avec fourrés arbustifs au sein de la zone d'activité, et un adulte sur une bordure de chemin bien exposée dans le boisement au sud.





Radioactivité et radioprotection : les rayonnements sous contrôle

Nous sommes exposés en permanence à des sources de radioactivité, qu'elles soient naturelles ou artificielles. Si les usages de la radioactivité fournissent des services pour notre société, les rayonnements issus de ce phénomène peuvent présenter des effets néfastes pour la santé. Même s'ils sont invisibles, ces rayonnements sont détectables, mesurables et, surtout, il existe de nombreuses dispositions pour s'en protéger.

Que ce soit pour les travailleurs en environnement nucléaire, les patients en médecine nucléaire et plus largement l'ensemble de la population, toute exposition à la radioactivité nécessite des mesures de protection adaptées. Les différents principes, règles et mesures à mettre en œuvre pour assurer cette protection correspondent à ce qu'on appelle « la radioprotection » et s'appliquent également à la gestion des déchets radioactifs.

La radioactivité, invisible... et omniprésente !

Phénomène naturel aux nombreux usages industriels ou médicaux, la radioactivité est présente partout, mais n'est pas perceptible pour l'œil humain. Explications.

Tout corps, qu'il soit animal, végétal, minéral, est composé d'atomes.

La plupart des atomes sont stables et ne changent pas au fil du temps. Certains, en revanche, sont instables et cherchent à atteindre, plus ou moins rapidement, un état stable. Pour y arriver, le noyau de ces atomes va se transformer (on parle de « désintégration ») en libérant de l'énergie sous forme de rayonnements dits « ionisants », invisibles à l'œil nu. Ces rayonnements peuvent provoquer des effets différents sur l'organisme en fonction de l'activité, du type de rayonnement (alpha, bêta,

gamma), ou encore de l'organe et des tissus exposés. Si une simple feuille de papier suffit à arrêter un rayonnement alpha, il faut un important blindage de plomb ou de béton pour bloquer un rayonnement gamma.

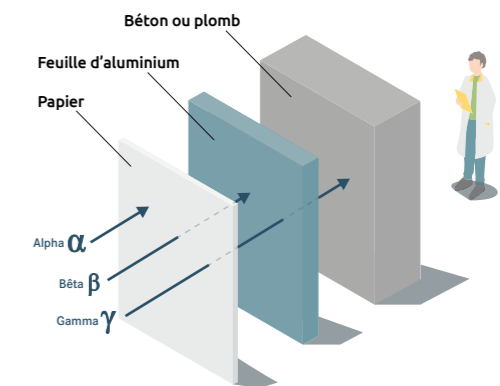
Ce phénomène appelé « radioactivité » est présent naturellement autour de nous : il est issu de la terre, du cosmos, ou présent dans les aliments. Après l'identification et la compréhension du phénomène, les scientifiques et les ingénieurs en ont développé des usages médicaux et industriels (pour produire de l'électricité, par exemple) : c'est la radioactivité artificielle.

4,5 mSv : c'est la dose moyenne reçue par une personne en France (dont 3,0 mSv d'origine naturelle et 1,5 mSv d'origine artificielle)⁽¹⁾. L'exposition varie en fonction des habitudes de vie, du lieu d'habitation ou de la fréquence des examens médicaux. Cela conduit à une dose annuelle très différente d'une personne à l'autre.

Estimez votre exposition sur le site de l'IRSN : expop.irsn.fr

(1) Résultats obtenus sur la base de l'ancien coefficient de dose radon (arrêté 2003).

Protection contre les différents types de rayonnement :



Les unités de mesure de la radioactivité

Trois unités sont fréquemment utilisées pour mesurer la radioactivité et son impact sur la matière vivante : le becquerel, le gray et le sievert. À quoi correspondent-elles ?

L'activité d'une source

Le becquerel (Bq) mesure l'activité de la source radioactive, c'est-à-dire le nombre de noyaux d'atomes qui se désintègrent par seconde et émettent un rayonnement. Cette mesure s'applique aussi bien à un volume qu'à une masse ou à une surface. Anciennement, l'unité de mesure utilisée était le curie (Ci).

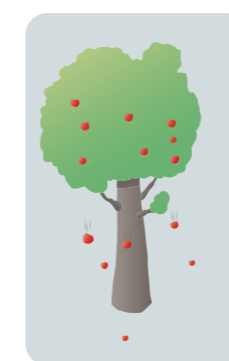
La dose absorbée

Le gray (Gy) mesure la dose absorbée par la matière exposée aux rayonnements. On peut la mesurer en fonction du temps d'exposition (Gy/s ou Gy/h). Anciennement, l'unité de mesure utilisée était la radiation absorbed dose (rad).

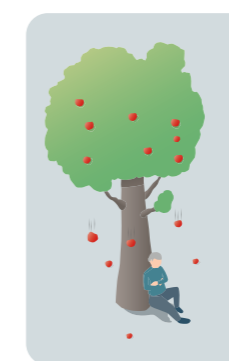
Les effets d'une dose

Le sievert (Sv) évalue l'impact du rayonnement sur la matière vivante. Cette unité permet de pondérer les effets des rayonnements (alpha, bêta, gamma) selon leur dangerosité pour le corps humain (on parle de « dose équivalente »), et selon la nature du tissu ou de l'organe exposé (on parle de « dose efficace »). Cet impact s'exprime généralement en sievert ou en millisievert (1 Sv = 1 000 mSv). Anciennement, l'unité de mesure utilisée était le röntgen équivalent man (rem).

Lorsque l'on compare un pommier à une source radioactive...



Le nombre de pommes qui tombent peut se comparer au **becquerel** (nombre de désintégrations par seconde).



Le nombre de pommes reçues par le dormeur peut se comparer au **gray** (dose absorbée).



L'effet laissé sur le corps selon le poids ou la taille des pommes peut se comparer au **sievert** (effet produit).

Radioactivité : quelle exposition pour quels effets ?

Quel est l'impact de la radioactivité sur la santé ? Comment sont déterminées les doses à ne pas dépasser ? On fait le point.

Il existe deux types principaux d'expositions aux rayonnements ionisants. On parle d'irradiation lorsqu'on est exposé aux rayons émis par une source extérieure. Dans ce cas, l'exposition cesse dès le retrait de la source d'exposition. On parle de contamination interne lorsque des particules radioactives pénètrent l'organisme par inhalation, ingestion, au travers de la peau ou éventuellement par une blessure. Dans ce cas, l'exposition se poursuit tant que la source n'est pas éliminée du corps.

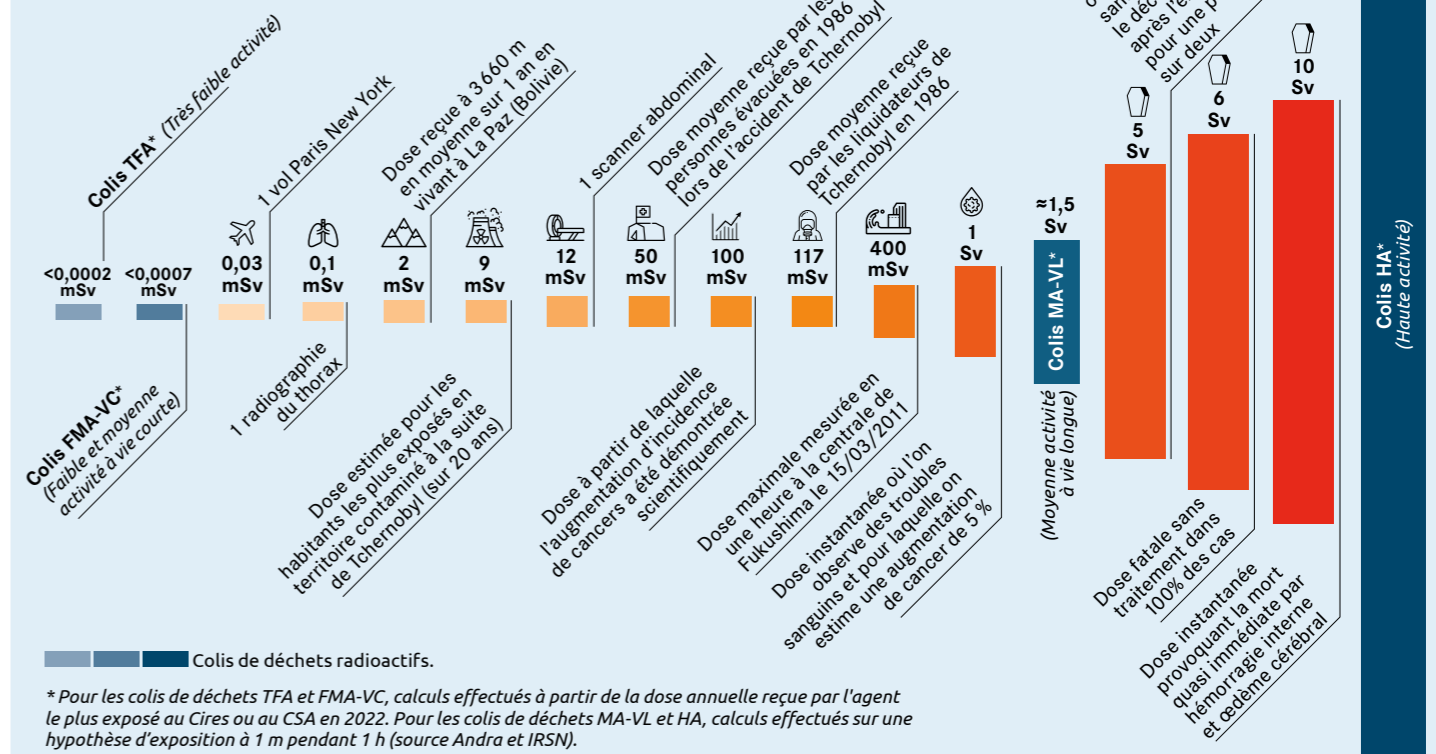
Les effets stochastiques, quant à eux, sont des effets à long terme, essentiellement sous forme de cancer, qui peuvent être observés de manière aléatoire à partir de doses faibles. Leur probabilité d'apparition augmente avec la dose. L'appréciation du risque reste cependant difficile : les cancers radio-induits surviennent longtemps après l'exposition et ne présentent pas de caractéristiques particulières permettant de les distinguer de cancers liés à d'autres causes (tabac, alcool, alimentation, etc.).

En 2012, dans son rapport à l'assemblée générale des Nations unies², l'*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)* établit schématiquement une échelle de doses pour une exposition du corps entier. Un premier palier est défini à 100 mSv. En effet, au-delà, les études épidémiologiques historiques ont observé statistiquement un excès de risque de cancer. On parle donc de faible dose au-dessous de 100 mSv et de dose modérée au-delà. On entre dans le domaine des fortes doses à partir de 1 000 mSv environ et l'apparition d'effets directs sur la santé (effets déterministes).

Pas de risque zéro

« Les effets sur la santé humaine d'une exposition à des doses inférieures à 100 mSv font toujours l'objet de débats, tant sur l'existence d'un seuil en deçà duquel on pourrait considérer qu'il n'y a pas d'effet sur la santé que sur la forme de la relation entre la dose reçue et la probabilité de développer un cancer. Les épidémiologistes et biologistes cherchent à réduire les incertitudes relatives à la relation entre l'exposition à des faibles doses et le risque de cancer », indique Yann Billarand, adjoint au directeur de la Santé de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Pour cela, ils suivent des cohortes de plus en plus importantes. Les résultats récents, montrant que le risque de développer un cancer est augmenté à partir d'une exposition de quelques dizaines de mSv, pourraient amener à considérer une révision de la classification des doses par l'UNSCEAR. De plus, ces résultats ne permettent pas de conclure qu'il existe un seuil de dose en dessous duquel il n'y aurait pas de risque de cancer lié aux rayonnements ionisants.

L'exposition aux rayonnements ionisants : du quotidien aux situations accidentelles (Échelle non représentative)



L'épidémiologie conforte ainsi le modèle mathématique dit « modèle linéaire sans seuil »³, sur lequel s'appuie la gestion du risque, même s'il est reconnu aujourd'hui que tous les mécanismes biologiques impliqués lors de la formation d'un cancer ne réagissent pas

tous de la même manière selon les doses reçues. Dans ce modèle, l'excès de risque de développer un cancer augmente proportionnellement à la dose de rayons ionisants reçue : à dose élevée, le risque est plus élevé qu'à dose faible. En considérant qu'il n'existe

pas de risque nul, même à très faible dose, le modèle permet de fixer des limites d'exposition correspondant à un niveau de risque jugé tolérable.

(1) Appelés désormais « réactions tissulaires ».
 (2) <https://vu.fr/quYJ>
 (3) <https://vu.fr/sySvP>

Les dates clés de la radioprotection

1895 Découverte par Wilhelm Röntgen des rayons X et de la radiographie, rapidement adoptés par les médecins et les dentistes. Ces derniers décrivent leurs premières constatations sur les dommages causés par les rayons sur la peau des mains.

1898 Pierre et Marie Curie découvrent le radium et le polonium et nomment « radioactivité » l'émission de leurs rayonnements particuliers.

1904 Premier décès attribué aux rayonnements ionisants : Clarence Dally, un assistant de Thomas Edison.



1896 Henri Becquerel découvre les « rayons uraniques » émis spontanément par les sels d'uranium. L'Américain Wolfram Fuchs propose les premiers conseils de radioprotection reposant sur le principe temps-distance-écran.

1899 Ernest Rutherford met en évidence l'existence de deux types de rayonnements radioactifs avec des pouvoirs de pénétration différents, qu'il baptise alpha et bêta. L'année suivante, Paul Vilard y ajoute un troisième type, baptisé gamma.

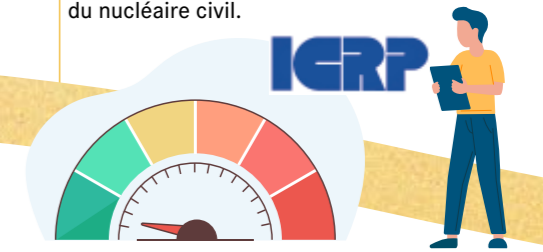


1928 Mise au point du compteur Geiger-Müller qui permet de mesurer les rayonnements radioactifs, et création du Comité international de protection contre les rayons X et le radium. Jusqu'à la Seconde Guerre mondiale, la protection radiologique concerne uniquement le personnel médical et est fondée sur l'existence de seuil d'effets.

1911 Un lien est établi entre la pratique de la radiothérapie et le développement de la leucémie.

1950 Recommandation d'une « dose maximale admissible » fixée à 0,5 rem par semaine (250 mSv/an). Le Comité international de protection contre les rayons X et le radium se rebaptise Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Les principes de la radioprotection s'étendent à l'ensemble du public et plus seulement aux travailleurs du secteur avec le développement du nucléaire civil.

1934 Recommandation d'une « dose tolérable » fixée à 0,2 rem par jour, ce qui équivaut à environ 700 millisievert (mSv) par an.



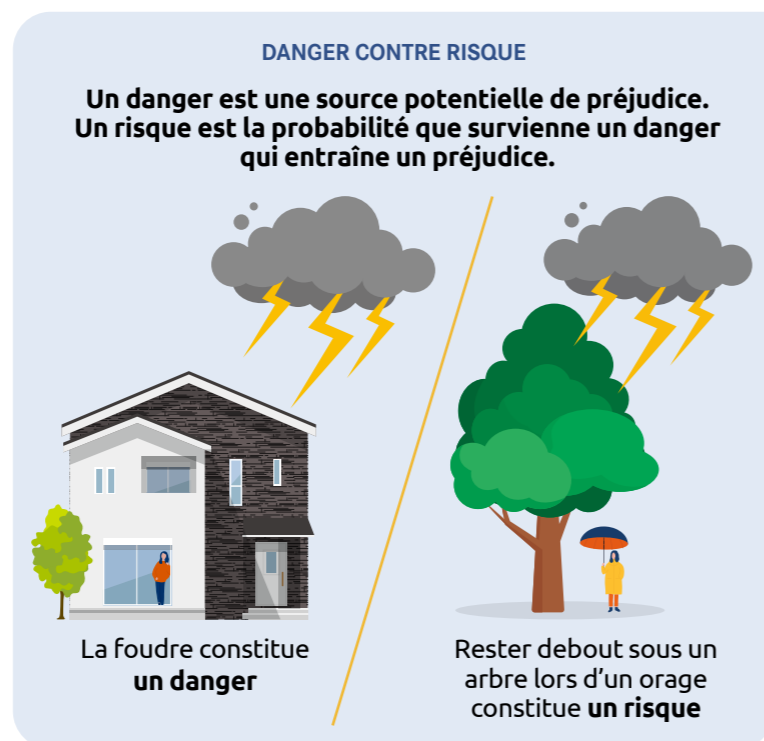
Radioprotection : se protéger des radiations

La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) définit les grands principes de gestion du risque d'exposition aux rayonnements ionisants et émet des recommandations qui sont reprises par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et la Commission européenne afin de définir les normes de base de la radioprotection. La CIPR est ainsi à l'origine de la plupart des normes et des réglementations de radioprotection. Entretien avec deux de ses membres.

La radioprotection telle que définie par la CIPR s'appuie sur trois grands principes : la justification, l'optimisation et la limitation de dose, que l'on retrouve dans les réglementations de tous les pays.

« Pour toute nouvelle source de radioactivité qui pourrait générer une exposition, qu'il s'agisse de la construction d'un centre de stockage de déchets radioactifs ou du diagnostic médical d'un patient, la justification consiste à vérifier que la présence ou l'utilisation des rayonnements apporte plus d'avantages que d'inconvénients », résume Thierry Schneider, président du comité permanent sur l'application du système de la CIPR. Un exercice parfois complexe, lorsqu'il s'agit par exemple de comparer des bénéfices sociétaux ou économiques et un risque inhérent à une exposition, même à des doses très faibles.

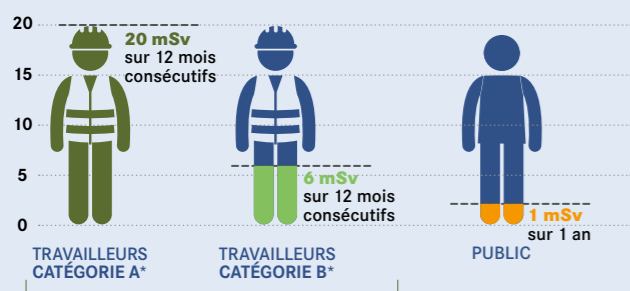
L'optimisation consiste quant à elle à réduire l'exposition au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre en fonction des objectifs poursuivis (principe ALARA), en prenant en considération les aspects économiques, sociétaux



et environnementaux. Pour cela, on peut agir sur l'intensité de la source du rayonnement, sur la fréquence ou la durée des expositions, ou encore sur des dispositifs de protection individuels ou collectifs. Enfin, le dernier principe concerne

la limitation de dose. « Il s'agit de contenir le niveau des expositions aux rayonnements ionisants en fixant des critères de dose pour les travailleurs, pour le public, mais aussi pour la faune et la flore », explique Dominique Laurier, président du comité permanent de la CIPR sur les effets des rayonnements ionisants sur la santé de l'homme et de l'environnement. En France, les recommandations de la CIPR ont notamment été inscrites dans le Code du travail, qui fixe une limite de dose annuelle réglementaire de 20 mSv pour les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants, et dans le Code de la santé publique qui préconise une limite annuelle d'exposition pour la population de 1 mSv, en dehors des expositions médicales et naturelles. « En réalité, cette valeur de 1 mSv est destinée à limiter l'exposition aux rayonnements ionisants

LIMITE DE DOSES RÉGLEMENTAIRES PAR CATÉGORIE DE PERSONNES (hors radioactivité naturelle et médecine)



5 mSv/an

Limite de doses fixée par l'Andra pour les travailleurs en zone délimitée

* Catégories définies selon l'évaluation préalable de l'exposition par l'employeur, conformément aux dispositions du Code du travail.



Opérateur équipé sur un chantier d'assainissement.

qui pourrait affecter le public, par exemple autour d'installations nucléaires. La radioactivité naturelle représente en moyenne, en France, une dose de 3 mSv/an. Il ne faut pas considérer ce 1 mSv comme une limite de risque mais comme une valeur de gestion de l'exposition dans des situations particulières », précise Dominique Laurier.

Des enjeux sociétaux

Plus les doses sont faibles, plus les risques sont faibles. « Pour autant, nous ne pouvons pas dire qu'un risque est nul ou même acceptable pour tel niveau de dose,

même très bas. Nous sommes en train de réviser nos recommandations de 2007⁽¹⁾ pour tenir compte de l'évolution des connaissances scientifiques, mais aussi des exigences de la société. Les principes de justification et d'optimisation intègrent des dimensions sociétales, éthiques, à mettre en regard des considérations techniques ou économiques. L'acceptabilité d'un risque ne dépend pas que d'une valeur radiologique », détaillent les deux experts, soulignant la nécessité d'associer largement les parties prenantes à la radioprotection.

(1) La révision en cours fait l'objet d'un article scientifique : <https://vu.fr/Sbruz>

Dans les coulisses des centres industriels de l'Andra



Contrôle radiologique de déchets TFA.

En tant qu'exploitant nucléaire en charge d'installations de stockage de déchets radioactifs, l'Andra a la responsabilité de protéger aussi bien les riverains, le public que les travailleurs. Comment cela se traduit-il sur le terrain ? Zoom sur les centres de l'Aube.



Retrouvez le portrait de Fabien Briand, technicien en radioprotection : <https://vu.fr/ePedS>



Le conditionnement et le stockage des colis de déchets radioactifs peuvent générer des risques liés aux rayonnements ionisants. Ces activités sont ainsi fortement encadrées par des exigences réglementaires. « Une partie importante de notre travail consiste à nous tenir constamment informés des évolutions de la réglementation, confie ainsi Philippe Valentin, ingénieur en radioprotection de l'Andra dans

l'Aube. Deux pôles de compétences en radioprotection sont constitués, un en lien avec les travailleurs et les installations qui relève globalement des dispositions du Code du travail, tandis que le second concerne l'environnement et la population et relève globalement du Code de la santé publique. » Cette organisation, dont les modalités sont prévues par arrêté, est spécifique aux installations

nucléaires de base (INB), comme le Centre de stockage de l'Aube (CSA). Dans les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), telles que le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires), cette même fonction est assurée par des conseillers en radioprotection. Dans les deux cas, leurs missions sont les mêmes. Au titre de la



Contrôle radiologique pieds-mains en sortie de zone au Centre de stockage de la Manche.

protection des travailleurs et des installations, il s'agit notamment du conseil pour l'aménagement des lieux de travail et le suivi de l'exposition des travailleurs, de la définition des zones délimitées et de leurs conditions d'accès, ainsi que l'évaluation des risques, la mise en œuvre de mesures de prévention et de protection et l'analyse d'événements significatifs. Pour ce qui a trait à l'environnement et à la population générale, les équipes de l'Andra participent à la définition du programme de surveillance radiologique de l'environnement, aux modalités de gestion des déchets radioactifs, ou encore à la réception et au contrôle des sources de rayonnement.

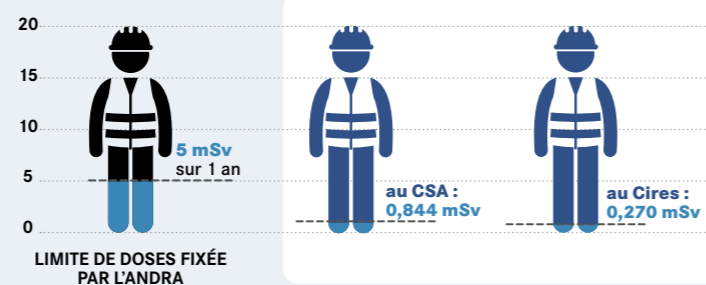
Des risques concrets et maîtrisés

À regarder les chiffres [voir encadré], les mesures de prévention sont efficaces : dans les centres de l'Andra dans l'Aube et dans la Manche, les travailleurs les plus exposés aux rayonnements ionisants présentent une dose équivalente annuelle maîtrisée et faible, bien en dessous des limites imposées par la réglementation. Les expositions externe et surtout interne font en effet l'objet d'une attention particulière.

« En ce qui concerne les risques d'exposition externe, sa maîtrise repose sur le principe "temps, distance, écrans", raconte Philippe Valentin. D'une part à l'aide de protections collectives intégrées en conception dans nos installations (verre au plomb des cabines des ponts de stockage, blindage d'équipements, spécifications des colis, etc.) et, d'autre part, via nos méthodes de travail. En ce qui concerne l'exposition interne, ce risque n'est présent que dans certaines situations, lorsque le déchet n'est plus confiné dans son colis (compactage des fûts 200 litres, carottage de colis, etc.). La protection collective repose par ailleurs sur un confinement statique (murs) en lien avec un confinement

dynamique (ventilation). Des équipements de protection individuelle sont également associés. Cela va de la combinaison en coton au scaphandre complet, associé à un appareil de protection des voies respiratoires. » Enfin, le personnel de l'Andra n'est pas le seul concerné par ces mesures de prévention. « Même si, d'un point de vue réglementaire, la radioprotection de nos sous-traitants et prestataires relève de la responsabilité de leurs employeurs, en tant qu'exploitants nous les assistons en évaluant les risques avec eux et nous élaborons ensemble un plan de prévention avant le démarrage de toute prestation », détaille l'expert de l'Andra.

DOSE ANNUELLE DU TRAVAILLEUR* LE PLUS EXPOSÉ (EN 2023)



* Salariés de l'Andra et prestataires.

Bientôt un indicateur de la nocivité des déchets radioactifs ?

Avec l'IRSN et les producteurs de déchets radioactifs, l'Andra travaille à l'élaboration d'un indicateur de la nocivité à intégrer à l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs. Pour s'assurer qu'il réponde bien aux questions du grand public, un groupe pluraliste sera associé à sa conception.

À l'origine de cet exercice, un avis de l'Autorité environnementale estimait que les informations fournies par le Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR) ne permettaient pas à un lecteur non averti d'apprécier la nocivité de chaque matière et déchet ainsi que son évolution à court, moyen et long terme. Un arrêté⁽¹⁾ a donc demandé à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) de produire « un rapport sur la méthodologie et les critères envisageables pour apprécier la nocivité des matières et déchets radioactifs ». En parallèle, l'Andra a également lancé sa propre réflexion sur le sujet, en collaboration avec le Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire (CEPN).

« Il s'agit d'un exercice complexe, car la nocivité d'une substance radioactive s'apprécie selon de multiples paramètres : la nature de l'exposition, sa durée, le niveau de décroissance de l'élément radioactif ou encore son conditionnement, explique Mélanie Maître, ingénieure en charge du développement de l'indicateur de la nocivité. Il faut tenter d'informer sur ces différentes composantes, ainsi que sur les risques chimiques et l'exposition de la faune et de la flore sauvages, dans un indicateur unique facile et compréhensible par tout un chacun. »

Une nouvelle approche

Après les premiers échanges sur la méthodologie à mettre en place, le PNGMDR 2022-2026 a demandé aux contributeurs de poursuivre le travail, cette fois sous le pilotage de l'Andra. En mars 2024, un premier pas a été franchi : « Avec l'IRSN et les

représentants des producteurs de déchets radioactifs, nous sommes parvenus à nous mettre d'accord sur l'unité à considérer (un colis de déchets radioactifs et non un déchet seul sans conditionnement) ainsi que sur les situations d'exposition à évaluer pour refléter aussi bien les enjeux chimiques, radiologiques et écotoxicologiques. Cela permet de comparer la nocivité des colis de déchets, et ce à différentes échelles de temps : au moment de sa fabrication, à 500 ans, 1 000 ans, 10 000 ans et 100 000 ans », résume Mélanie Maître.

À partir de ces propositions, un groupe de travail pluraliste constitué par la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) doit déterminer l'indicateur de nocivité qui sera le plus adapté pour informer le grand public. L'objectif étant de l'intégrer dans la prochaine édition de l'Inventaire national.

(1) <https://vu.fr/Edqas>



Inventaire national des matières et déchets radioactifs.



Contrôle radiologique d'un colis de déchets radioactifs.

____ PORTRAIT ____

Maëva Quouillault, chercheuse de solutions pour déchets « hors normes »

En marge de la majeure partie des déchets radioactifs stockés dans les centres industriels de l'Andra dans l'Aube, certains sont considérés comme « non standards », par leur taille, leurs caractéristiques radiologiques, etc. La mission de Maëva Quouillault ? Leur trouver une solution de prise en charge adaptée, sans transiger avec les exigences de sûreté et de sécurité des installations de stockage.



Maëva Quouillault

Pourquoi le ciel est-il rose quand le soleil se couche ? De quoi est constituée la matière ? Ces questions, la plupart des enfants arrêtent de se les poser en grandissant. Maëva Quouillault, elle, n'a jamais cessé. « En CM2, je me souviens d'une expérience en classe sur la densité des liquides, avec de l'huile et de l'eau. Cela m'a fascinée, ma passion pour les sciences est sans doute née ce jour-là. »

Adeptes du travail collectif

Diplômée de Chimie ParisTech, Maëva Quouillault s'oriente vers le secteur de l'énergie par sensibilité aux questions environnementales. Pendant trois ans, elle travaille sur les impacts environnementaux dans une centrale nucléaire d'EDF. Avant de rejoindre l'Andra en 2018 comme ingénieure Innovation. Une expérience précieuse lorsque, trois ans plus tard, elle devient chargée d'études et pilote d'affaires à la direction industrielle et du Grand Est de l'Agence. « À l'Innovation, j'ai beaucoup appris sur l'intelligence collective et le "design thinking"⁽¹⁾. Cela m'est utile, car la dimension "travail collectif" est importante dans mes missions. » À la demande des producteurs (EDF, CEA et Orano), Maëva Quouillault réalise des études scientifiques et techniques sur la prise en charge de déchets radioactifs dits « non standards ». « Ces derniers ne correspondent pas tout à fait à nos référentiels de sûreté habituels en raison de leur taille, par exemple, ou de leurs caractéristiques radiologiques. » Pour réaliser ces études, l'Agence s'appuie sur des experts en sûreté, en matériau, en modélisation, ainsi que sur ses équipes d'exploitation afin de juger de l'acceptabilité de ces déchets et de converger vers la solution la plus sûre et la plus efficiente.

« **Quand j'ai débuté dans le nucléaire, j'ai été frappée par l'importance donnée à la qualité, à la culture de la sûreté, à la rigueur, à la propreté des lieux. »**

Persévérante et perfectionniste

Maëva Quouillault réalise simultanément cinq ou six études, chacune pouvant durer entre six et dix-huit mois. L'enjeu est de trouver une solution pour ces déchets non standards : analyser l'acceptabilité de ces colis par l'Andra, notamment au travers d'étude de sûreté, ou encore la faisabilité opérationnelle du stockage. Leur accueil nécessite parfois de nouveaux aménagements et équipements. « Il faut faire preuve de persévérance. On est satisfait quand on a trouvé la solution la plus sûre. » À 32 ans, Maëva est heureuse d'avoir choisi cette voie. « Quand j'ai débuté dans le nucléaire, j'ai été frappée par l'importance donnée à la qualité, à la culture de la sûreté, à la rigueur, à la propreté des lieux. C'est un univers dans lequel je me suis sentie tout de suite très à l'aise. Je suis plutôt perfectionniste et organisée ! »

(1) Le « design thinking » est une méthodologie innovante de design collaboratif et de cocréation qui permet de générer des idées rapidement et de les transformer en projets concrets.



Voir le portrait de Maëva en vidéo : <https://vu.fr/wevqj>



« **Le Comité éthique et société, un espace où l'on peut débattre de sujets complexes de manière libre et dépassionnée. »**



Entretien avec Dominique Le Guludec, nouvelle présidente du Comité éthique et société

Depuis décembre 2023, Dominique Le Guludec est la nouvelle présidente du Comité éthique et société (CES). Elle revient sur son parcours, ses ambitions et les prochains chantiers qui attendent le Comité.

Pourquoi avoir accepté la présidence du Comité éthique et société ?

J'ai accepté cette mission par désir de mettre mes compétences et mon expérience au service d'une instance qui porte sur des enjeux éthiques. C'est l'un des derniers espaces où l'on peut débattre de sujets complexes de manière libre et dépassionnée. J'ai également accepté par curiosité. Animer les échanges d'une quinzaine de personnalités remarquables, expertes dans des domaines aussi divers que le droit, l'économie, l'information, la philosophie, la physique ou la chimie, ne peut que m'enrichir !

Vous êtes cardiologue, spécialiste en médecine nucléaire, et vous vous intéressez de longue date aux enjeux de la radioprotection. Cela oriente-t-il votre approche ?

Il est vrai que j'ai acquis certaines compétences en présidant le conseil

d'administration de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, puis la Haute Autorité de santé. Avoir approché de près les questions de dosimétrie et de radioprotection m'épargnera en partie un lourd travail de mise à niveau technique. Cela dit, j'ai commencé par visiter les centres de l'Andra, car je ne peux en effet réfléchir que sur du concret, seul garde-fou contre les fantasmes et les peurs. Descendre dans le Laboratoire souterrain m'a fait toucher du doigt l'échelle exceptionnelle du projet Cigéo, et j'en suis ressortie avec de nombreuses questions sur lesquelles nous allons maintenant travailler.

Quels sont vos premiers objectifs ?

Nous allons d'abord participer à la concertation sur les objectifs et les critères de réussite de la phase industrielle pilote de Cigéo. Nous allons ensuite suivre de près le développement du projet de stockage des

La mission du CES

Rattaché au conseil d'administration de l'Andra, le Comité éthique et société regroupe des personnalités qualifiées indépendantes aux expertises plurielles.

À travers ses avis et recommandations publics, le CES a pour mission d'éclairer, d'évaluer et de faire progresser l'Agence sur :

- la prise en compte effective des enjeux éthiques, citoyens et sociétaux dans ses activités et ses projets ;
- le dialogue et l'implication de ses parties prenantes et intéressées ;
- l'orientation de ses recherches dans le champ des sciences sociales.

déchets de faible activité à vie longue (FA-VL), sur lequel nous venons de rendre un avis. Enfin, nous avons décidé de nous saisir des trois questions éthiques identifiées dans le cinquième Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR) : l'attention portée aux générations futures, l'approche du risque et la confiance dans l'expertise scientifique, en lien avec la décision publique. ●



Voir en vidéo : <https://vu.fr/LiYNa>



Relance du nucléaire : quels impacts sur la gestion des déchets radioactifs ?

Le plan de relance du nucléaire français prévoit la construction de six réacteurs de type EPR2, dont les deux premiers, s'ils sont autorisés, pourraient être mis en service à partir de 2035. Quelles conséquences sur le volume des déchets radioactifs qui seraient produits ?

La décision de lancer les six premiers réacteurs en projet de type EPR2 s'est accompagnée en amont d'un rapport⁽¹⁾ du gouvernement évoquant notamment les conséquences sur la gestion des déchets radioactifs. Ce dernier souligne que les déchets générés par ces réacteurs ont des caractéristiques similaires à ceux déjà produits par le parc de centrales nucléaires actuellement en fonctionnement en France. Il s'agit en effet majoritairement de déchets de très faible activité (TFA) et de faible et moyenne activité, principalement à vie courte

(FMA-VC), produits notamment lors d'opérations de maintenance ou lors de leur exploitation courante, mais également de déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) et de haute activité (HA) issus du retraitement des combustibles usés. La prise en charge par l'Andra de ces déchets radioactifs vers les filières de stockage adaptées s'accompagne d'une analyse technique et d'un processus démocratique et réglementaire. ●

(1) https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2022.02.18_Rapport_nucleaire.pdf



LA PRISE EN CHARGE DES DÉCHETS PRODUITS PAR SIX RÉACTEURS EPR2



Stockage de déchets TFA au Cires.

DÉCHETS TFA

Depuis 2003, c'est au Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) que sont pris en charge par l'Andra les déchets TFA.

- **Capacité de stockage autorisée du Cires** : 650 000 m³
- **Taux de remplissage à fin 2023** : 72,2 %. Selon les estimations actuelles, uniquement basées sur les volumes produits par les installations nucléaires déjà autorisées, le Cires devrait atteindre sa capacité maximale autorisée vers 2030. Le projet Acaci pourrait permettre de prendre en charge 300 000 m³ de déchets supplémentaires et d'exploiter le Cires jusqu'à l'horizon 2045
- **Évaluation du volume supplémentaire de déchets TFA produits par six réacteurs EPR2** : 120 000 m³

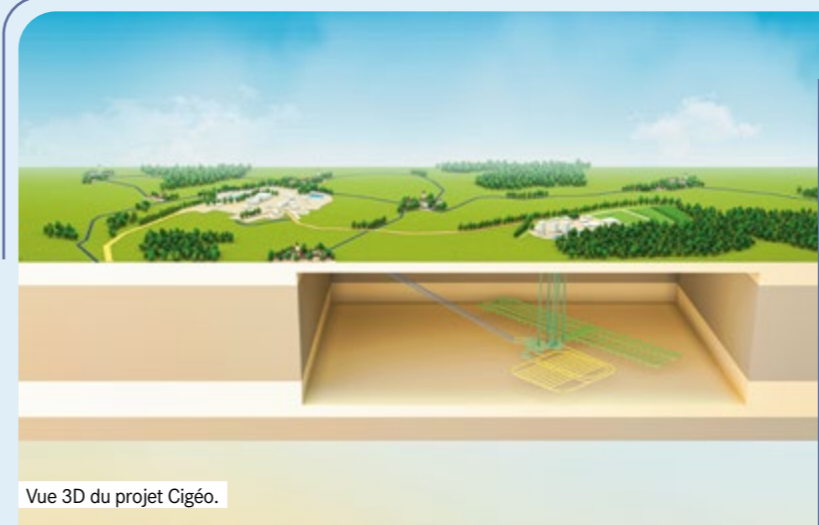
DÉCHETS FMA-VC

Depuis 1992, c'est au Centre de stockage de l'Aube (CSA) que sont pris en charge par l'Andra les déchets FMA-VC.

- **Capacité de stockage autorisée du CSA** : 1 000 000 m³
- **Taux de remplissage à fin 2023** : 37,9 %. Selon les estimations actuelles, uniquement basées sur les volumes produits par les installations nucléaires déjà autorisées, le CSA devrait atteindre sa capacité maximale autorisée à l'horizon 2060
- **Évaluation du volume supplémentaire de déchets FMA-VC produits par six réacteurs EPR2** : 98 400 m³



Stockage de déchets FMA-VC au CSA.



Vue 3D du projet Cigéo.

DÉCHETS MA-VL ET HA

Si le projet de Centre de stockage géologique, Cigéo, est autorisé, il pourra prendre en charge les déchets MA-VL (à l'horizon 2040) et HA (à l'horizon 2080).

Par ailleurs, si la création des six nouveaux réacteurs est autorisée, des études complémentaires devront être menées pour conforter l'évaluation préliminaire de l'Andra. Leur prise en charge par Cigéo nécessitera également de respecter les processus réglementaires et démocratiques préalables à l'autorisation de stockage.

- **Inventaire de référence de Cigéo** : 73 000 m³ de déchets MA-VL et 10 000 m³ de déchets HA
- **Évaluation du volume supplémentaire de déchets MA-VL et HA produits par six réacteurs EPR2** : les volumes varient sensiblement de quelques milliers de m³ selon la stratégie de retraitement des combustibles nucléaires usés (arrêt du retraitement, stratégie de mono ou de multi-recyclage) : pour les déchets MA-VL, les volumes varient entre 2 574 m³ et 3 951 m³; pour les déchets HA, les volumes varient entre 0 m³ et 1 872 m³

QUID DES PROJETS DE PETITS RÉACTEURS NUCLÉAIRES INNOVANTS ?

L'exploitation et le démantèlement des réacteurs nucléaires modulaires de petites tailles, dits SMR (*Small Modular Reactors*) ou AMR (*Advanced Modular Reactors*) en projet, produiront des déchets radioactifs. L'Andra regarde ce sujet de près, afin notamment d'accompagner les porteurs de projet qui doivent

fournir les données nécessaires pour permettre l'identification des filières de gestion des déchets produits par ces installations (caractéristiques, volume des déchets). Les échanges permettront aux futurs producteurs de déchets de mettre en place la caractérisation de leurs déchets.

Terres « Bayard », l'heure du dernier voyage

Après un siècle de succès, l'aventure des Réveils Bayard s'est arrêtée en 1988, laissant derrière elle un site contaminé. Des terres très faiblement radioactives provenant de cette friche industrielle sont aujourd'hui prises en charge sur l'un des centres de stockage de l'Andra dans l'Aube.

Revenons un siècle en arrière... Comme la plupart de ses concurrents à l'époque, la société Réveils Bayard a pris sa part à la folle histoire du radium. Découvert en 1898 par Marie et Pierre Curie, ce métal n'a pas seulement la propriété d'être radioactif : associé à certains matériaux, il devient luminescent⁽¹⁾. L'industrie horlogère se saisit de cette propriété et commence à utiliser de la peinture au radium sur les chiffres et les aiguilles des montres, des réveils et des pendules. Entrevoyant le potentiel de cette technologie, la société Réveils Bayard lance ses réveils en 1907. Dans les années 1930, elle obtient même d'un jeune réalisateur nommé Walt Disney le droit d'utiliser ses personnages pour créer des réveils animés. Plusieurs générations grandiront ainsi avec un Mickey Mouse, une Blanche Neige ou un Pluto « Bayard » sur leur table de nuit. Au pic de son activité, dans les années 1950 et 1960, la société emploie un millier de personnes. Son site de Saint-Nicolas-d'Aliermont (Seine-Maritime) s'étend sur près

de 4 ha. À la fin des années 1970, l'arrivée du quartz et de la concurrence asiatique enclenche son déclin. Malgré l'engagement de plusieurs repreneurs, l'aventure prend fin.

1 500 tonnes de terres contaminées

À cette époque, l'utilisation du radium dans les produits de consommation courante et médicaux (pour ses vertus réputées curatives) est déjà terminée depuis deux décennies. La communauté scientifique prend progressivement conscience de sa dangerosité et son usage se voit ensuite largement proscrit. Le radium disparaît des cadrans en 1962, remplacé par un autre radionucléide, le tritium. Ce dernier cède enfin la place au luminova, ni radioactif ni dangereux, en 1997. Après sa fermeture en 1988, le site de fabrication des Réveils Bayard de Saint-Nicolas-d'Aliermont conserve les stigmates de son activité passée, notamment des terres contaminées. « L'Andra avait supervisé les premières opérations d'assainissement dans les années 1990, explique Jean-Baptiste Rioual, chargé d'affaires au service "Solutions pour les producteurs non électronucléaires". Mais, dans l'attente d'une filière pérenne de prise en charge de ces déchets radioactifs, la décision avait été prise de confier les 1 500 tonnes de terres excavées au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), à Cadarache (Bouches-du-Rhône), pour un entreposage provisoire. Les déchets radioactifs, majoritairement de très faible activité (TFA), ont été conditionnés dans 71 conteneurs. »



Ouvrières au travail à l'usine Bayard.

Le scandale des « radium girls »

Grâce à la protection opérée par la vitre du réveil ou de la montre, et du fait de leur très faible quantité, le radium ou le tritium ne présentent pas de risque pour leur détenteur (tant que la vitre reste intacte). Toutefois, leur utilisation par l'industrie horlogère est au cœur d'un des plus importants scandales sanitaires du début du xx^e siècle, aux États-Unis : celui des « radium girls ». Surnommées ainsi car il s'agissait majoritairement de femmes, elles avaient conservé cette habitude des peintres d'affiner à la bouche la pointe de leur pinceau. Leurs anémies, nécroses de la mâchoire et cancers finirent par être reconnus comme maladies professionnelles à la fin des années 1920. À l'époque, le scandale des « radium girls » a eu un fort écho en Europe et a entraîné enfin d'indispensables précautions.

Un chantier de longue haleine

Après un quart de siècle, les conteneurs, entreposés sous des hangars métalliques, commencent à rouiller. Toutefois, le Cires était désormais prêt à les prendre en charge, moyennant un reconditionnement. Un chantier pilote a donc été lancé sur 17 conteneurs de déchets TFA en 2020. Retardé par la découverte d'amiante dans les terres, le chantier a finalement permis à 17 conteneurs de déchets TFA d'être reconditionnés en 300 colis de déchets TFA et 1 colis de déchets de faible activité à vie longue (FA-VL). Les premiers ont été livrés au Cires en 2023 pour y être stockés définitivement. Quant au colis FA-VL, il a été entreposé temporairement dans une installation prévue à cet effet au Cires, sous surveillance,

dans l'attente d'une solution de gestion adaptée pour cette catégorie de déchets radioactifs. « Il reste désormais à reconditionner les 54 conteneurs de terre restants, soit l'équivalent d'environ 900 colis TFA, avant leur expédition au Cires pour y être stockés », annonce Jean-Baptiste Rioual. Sur le site de Saint-Nicolas-d'Aliermont, l'histoire de la société Réveils Bayard s'est refermée avec la fin du chantier d'assainissement, il y a une dizaine d'années, et la déconstruction de l'ensemble des bâtiments de l'usine. Les lieux sont aujourd'hui entièrement réhabilités en espaces publics. ●

(1) C'est-à-dire qu'il émet de la lumière dans l'obscurité sans qu'il soit nécessaire de l'exposer à la lumière naturelle.



Terres excavées de l'usine Bayard entreposées en conteneurs à Cadarache.



Que faire de vos objets au radium ?

Les objets radioactifs, tels que les réveils avec de la peinture au radium, peuvent se reconnaître à la présence du symbole en forme de « trèfle » (ou trisecteur) sur leur emballage ou des lettres « rad » ou « ra » dans leur nom. Leur particularité ? Ils brillent dans l'obscurité sans avoir été exposés à la lumière depuis au moins deux jours. Ils peuvent aussi être conditionnés dans du béton ou du plomb. L'Andra est chargée de les récupérer, le plus souvent gratuitement. Elle collecte ainsi chaque année une centaine d'objets radioactifs contenant notamment du radium.

Contact : 01 46 11 83 27 ou collecte-dechets@andra.fr



Cadrans et aiguilles de réveil peints au radium



Pour en savoir plus sur la collecte des objets radioactifs : <https://vu.fr/UHVva>



Chantier de dépollution de l'usine Bayard à Saint-Nicolas-d'Aliermont.

INTERNATIONAL

Gestion des déchets radioactifs : l'Espagne affine ses choix

Le septième plan général des déchets radioactifs (PGRR⁽¹⁾) publié en décembre 2023 par l'Espagne prévoit la poursuite du fonctionnement du centre de stockage en surface et avance vers la mise en œuvre d'un stockage géologique des déchets les plus radioactifs.



Vue aérienne de l'installation de stockage de déchets radioactifs d'El Cabril.

Ce plan intervient dans un contexte de sortie progressive de la filière électronucléaire : aujourd'hui, sept réacteurs demeurent en activité en Espagne dans les centrales d'Almaraz, Ascó, Cofrentes, Trillo et Vandellós. Leurs fermetures sont programmées entre 2027 et 2035 selon le nouveau PGRR. Leurs démantèlements s'ajouteront à ceux, en cours, de trois autres réacteurs déjà arrêtés.

El Cabril, un stockage en surface de référence

Ces démantèlements produiront un volume important de déchets radioactifs qui seront stockés sur le centre de stockage en surface espagnol d'El Cabril (près de Cordoue). Ouverte en 1992, cette installation accueille les déchets de faible et moyenne activité (FMA) provenant des installations nucléaires du pays et d'autres activités industrielles, médicales ou de recherche. Elle dispose également d'une zone pour les déchets de très faible activité (TFA). Son activité se poursuivra jusqu'à la fin du démantèlement du parc nucléaire espagnol. Un espace de stockage supplémentaire sera toutefois nécessaire vers fin 2028 pour la gestion des déchets FMA.

Vers le stockage géologique profond

La principale nouveauté de ce septième PGRR est la confirmation de l'abandon du projet de site d'entreposage temporaire centralisé pour les déchets de haute activité (HA) et les combustibles nucléaires usés⁽²⁾. Ils seront entreposés pendant plusieurs décennies sur leurs sites de production jusqu'à la mise en service d'une solution de gestion définitive : une installation de stockage géologique qui pourrait voir le jour vers les années 2070. Le PGRR établit une feuille de route détaillée pour le choix du site et la bonne information du public. Sur ce projet, l'Espagne peut s'appuyer sur les études sur le potentiel géologique du sous-sol ibérique, qui ont commencé en 1985 et révèlent la présence de formations potentiellement favorables. Plusieurs modèles conceptuels visant à démontrer la sûreté d'une solution de ce type ont déjà été développés et évalués. ●

(1) Plan general de residuos radiactivos. Ce document définit la stratégie et les actions à mettre en œuvre pour assurer une gestion sûre et adaptée des déchets radioactifs.

(2) Contrairement à la France, l'Espagne ne retire plus son combustible usé depuis 1983. Il est donc considéré comme un déchet radioactif en tant que tel.

France-Espagne, une coopération active

Gestion opérationnelle des déchets, R&D, dialogue avec les communautés locales : la coopération entre l'Andra et l'Enresa, son homologue espagnol, ne s'est jamais interrompue depuis un premier accord en 1986. Début juin 2023, une délégation de l'Enresa était ainsi reçue au Centre de stockage de l'Aube (CSA) puis au Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) pour travailler sur la thématique de la surveillance dans les ouvrages de stockage d'El Cabril.



Stockage des déchets de faible et moyenne activité à El Cabril.

Entreposage des déchets les plus radioactifs : dans les coulisses du site Orano La Hague

En lisière du Centre de stockage de la Manche, le site Orano La Hague traite les combustibles usés du parc nucléaire français afin d'en extraire les matières valorisables. Les déchets radioactifs qui en sont issus sont entreposés provisoirement sur place en attendant leur stockage dans Cigéo. Explications.

Le retraitement des combustibles usés des centrales nucléaires fait partie de la politique énergétique française. De cette opération est extraite une petite portion du contenu des combustibles (environ 4 %) qui ne peut être valorisée. « Ils sont alors considérés comme des déchets radioactifs dans la mesure où aucune réutilisation n'est prévue ou envisagée », explique Sylvain Renouf, adjoint à la directrice de la Communication d'Orano La Hague. Ces déchets sont de deux sortes : de moyenne activité à vie longue (MA-VL) pour la structure métallique du combustible, et de haute activité (HA) pour les éléments radioactifs (essentiellement les produits de fission). Dangereux sur le très long terme, ils sont destinés à être stockés dans Cigéo, dont la



Entreposage de colis de déchets de haute activité vitrifiés.

PRÉPARER L'AVENIR

Orano La Hague adapte régulièrement ses capacités d'entreposage aux prévisions de traitement de la production nucléaire française, ainsi qu'à ses obligations contractuelles avec des pays étrangers⁽¹⁾. « Nous avons la capacité de construire de nouvelles installations d'entreposage à la fois sûres et adaptées aux besoins des clients d'Orano », indique Sylvain Renouf.

(1) Le stockage en France de déchets radioactifs en provenance de l'étranger est strictement interdit par la loi depuis 1991. Les déchets issus du retraitement de combustibles usés étrangers sont, à terme, retournés aux clients comme le prévoient les contrats de retraitement.

demande d'autorisation est en cours d'instruction. « En attendant, ils sont vitrifiés ou compactés, puis conditionnés et entreposés en toute sûreté dans nos installations », indique Sylvain Renouf.

Vitrifier et compacter

Avant leur entreposage, les déchets de haute activité (HA) sont vitrifiés, c'est-à-dire piégés dans une matrice en verre, puis coulés dans des conteneurs en acier inoxydable. Ils sont ensuite placés dans des puits ventilés pour évacuer la chaleur qui s'en dégage. Cinq ans plus tard, lorsque leur puissance thermique a suffisamment diminué, les colis sont déplacés dans des puits bénéficiant d'une ventilation

naturelle. « Ce système passif permet d'attendre sereinement l'ouverture de Cigéo, les bâtiments étant dimensionnés pour une exploitation de l'ordre du siècle », précise Sylvain Renouf. Quant aux déchets MA-VL, ils sont compactés dans un fût après avoir été découpés en fragments, plongés dans de l'acide nitrique et rincés. La galette ainsi formée est introduite dans un conteneur en acier inoxydable. Ces colis sont entreposés dans des alvéoles dans un bâtiment à plusieurs niveaux. ●



Pour en savoir plus : <https://vu.fr/uMFDQ>



— #ON VOUS RÉPOND —

Que deviennent les déchets végétaux issus de la tonte du CSM ?

Le Centre de stockage de la Manche est protégé par une couverture de plusieurs mètres d'épaisseur recouverte de végétation. Elle s'étend sur environ 15 ha. L'herbe qui occupe la surface de cette couverture est très utile, puisqu'elle assure une fonction de drainage, contribuant ainsi à limiter l'infiltration des eaux de ruissellement et à éviter leur stagnation au-dessus du centre. Mais elle doit être tondue plusieurs fois dans l'année : en avril, en mai, fin juin/début juillet et enfin en septembre. Ces tontes génèrent au total environ 80 t de déchets végétaux par an. C'est un prestataire extérieur, l'entreprise Valois située à Caen (14), qui se charge de la tonte. Cette première partie de l'opération peut durer 3 à 4 jours. Au préalable, les

ouvriers doivent arracher les plants de renouée du Japon, une plante invasive qu'il vaut mieux ne pas tondre si l'on veut éviter d'en disperser les graines. Cette indésirable est ensuite évacuée jusqu'à une filière d'incinération. Quant à l'herbe, une fois tondue, elle est entreposée dans plusieurs bennes et transportée par Veolia jusqu'à son unité de traitement des déchets de Valognes (50), à une quarantaine de kilomètres du CSM. Elle y est transformée en compost, pour finalement retourner à la terre. Une gestion circulaire des déchets végétaux bien rodée et conforme aux exigences de la norme ISO 14001 engageant le CSM en matière de management environnemental.



— #ILS SONT VENUS NOUS VOIR —



C'est avec émotion qu'un groupe d'anciens collaborateurs de Bouygues Construction a visité le Centre de stockage de la Manche le 20 février dernier. La raison ? Tous ces professionnels du bâtiment, aujourd'hui retraités, ont travaillé sur le centre dans les années 1980 pour la construction d'ouvrages de stockage.

« Cette visite nous a replongés dans notre implication sur les méthodes de stockage des colis, les créations de monolithes prêts au remplissage, les fûts métalliques et en béton, les injections de coulis dans les cases graphites... Nous étions curieux de découvrir quelles méthodes de surveillance avaient été mises en œuvre et comment l'Andra communiquait sur cette surveillance et sur l'impact environnemental du site. Nous avons remarqué l'intégration parfaite au paysage local et le suivi très sérieux de la maintenance et de la surveillance. »



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



À votre avis que représente cette image ?

Exutoire de la ventilation de la galerie souterraine.

Pour en savoir plus : <https://vu.fr/eMkHX>





CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE — La Hague (Digulleville)

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



2 FORMULES GRATUITES
sont proposées, dont une à faire
en famille avec l'escape game :

LE MARDI : VISITE GUIDÉE (2 H ENV.)
LE JEUDI : ESCAPE GAME (1 H 15 ENV.)

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