

REPÈRES

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

EN PRATIQUE

Irma teste la résistance
des matériaux aux irradiations

DOSSIER

Radioécologie marine Les connaissances progressent



REPORTAGE

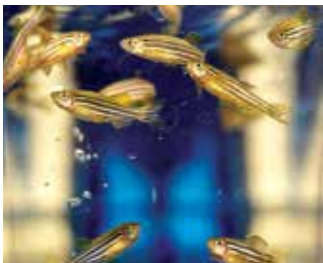
Ingénieure sûreté,
un avis indépendant
dans une centrale nucléaire



« 3 minutes pour une thèse » sur YouTube

Mécanique, radiologie ou neutronique, des doctorants présentent leurs travaux tout en les rendant accessibles lors du concours « 3 minutes pour une thèse ». Pour les découvrir, des vidéos sont disponibles sur la chaîne YouTube et la page Facebook de l'IRSN. Le lauréat de l'édition 2020, Loïc Quevarec, doctorant en écotoxicologie, verra sa thèse résumée en deux planches de BD.

www.irsn.fr/these-3min



Effets des rayonnements sur l'embryogenèse

Une exposition chronique à faibles doses de rayonnements ionisants

affecte le développement du système nerveux central et des muscles, montre la thèse de Sophia Murat El Houdigui. En étudiant le poisson zèbre – organisme modèle connu sous le nom latin *Dario rerio* –, elle révèle que des perturbations moléculaires précoces prédisent des effets observés à des stades ultérieurs.

www.irsn.fr/These-El_Houdigui



Suivi dosimétrique des travailleurs

Vous manipulez quotidiennement des sources radioactives ? Découvrez en images comment l'IRSN assure la mesure de l'éventuelle contamination radiologique des travailleurs. Laboratoires fixes et mobiles, mesures de la contamination du corps entier et de la thyroïde, intervention en cas d'accident radiologique...

Une courte vidéo résume l'accompagnement de l'Institut.

www.irsn.fr/Ytb-Anthrop

Agenda

Agenda sous réserve de la tenue des événements, en raison de la crise liée au Covid-19.

14 au 18 juin 2021

Congrès virtuel

e-SFRP 2021

Contexte sanitaire oblige, le congrès de la Société française de radioprotection (SFRP) est cette année numérique. L'Institut y participe virtuellement. Il présente ses prestations autour de la dosimétrie des travailleurs, ainsi que les principaux

enseignements de son rapport annuel, qui résume les expositions des professionnels de tous les secteurs – médecine, industrie, recherche... – aux rayonnements ionisants.

Plus d'information : www.sfrp.asso.fr

Online WEBMAG

www.irsn.fr/R49



➔ À LIRE

Temps forts
Expérimentation animale : priorité au respect de l'éthique



➔ À LIRE

Zoom
EVA met l'acier à l'épreuve



▶▶ VIDÉO

Faits et perspectives
La mise à disposition de données publiques



▶▶ PODCAST

Dossier
Du fleuve à la mer : la trajectoire d'un polluant



▶▶ VIDÉO

Faits et perspectives
L'exposition des travailleurs



▶▶ DIAPORAMA

Reportage
Les vérifications quotidiennes dans une centrale

Abonnement

POUR VOUS ABONNER : www.irsn.fr

Rubrique l'IRSN > Publications > Magazine Repères

Sommaire

En couverture : prélèvement de sédiments marins dans la baie du Mont-Saint-Michel (Manche). Les radioécologistes, Philippe Laguionie (à gauche) et Denis Maro (à droite), retirent le carottier du sol.

P.4 TEMPS FORTS

Dénoyage des combustibles usés
Aspic explore l'efficacité de l'aspersion

Stockage des déchets
Étudier « les portes »
de Cigéo

P.6 FAITS ET PERSPECTIVES

Exposition des travailleurs aux rayonnements
La dose individuelle augmente de 7 %

P.9 ZOOM

Rompu de fatigue

DOSSIER P.10

Dossier du prochain N° :
Filtration des aérosols

Radioécologie marine
La surveillance s'améliore

P.17 EN PRATIQUE

Effets des irradiations
Évaluer la résistance des matériaux

P.20 INTÉRÊT PUBLIC

Les sciences sont à la fête

P.22 REPORTAGE

Ingénieure sûreté
Un avis indépendant



© PRP-ENV/SESURE/LERCY/IRSN

Veille et recherche

Les rejets radioactifs en milieu marin n'ont cessé de diminuer depuis les années 1980. À tel point qu'aujourd'hui, les niveaux de radioactivité artificielle sont très faibles. L'Institut poursuit néanmoins la veille. Les études sur le devenir de la radioactivité dans l'environnement marin et son impact débutent dès les années 1960. *Repères* fait le point sur les avancées récentes. L'accident de Fukushima Daiichi – le premier à impacter directement l'écosystème marin – nous a orientés vers de nouveaux thèmes de recherche. Comment les radionucléides sont-ils transférés au sein des chaînes alimentaires ? Quel est l'importance et la pérennité de leur stockage dans les sédiments qui constituent un réservoir de radioactivité ? Nous avons beaucoup avancé sur ces questions cruciales, les travaux se poursuivent. L'IRSN promeut également l'utilisation de radionucléides comme traceurs. Ils nous informent sur la circulation des masses d'eau dans les mers et océans, sur les processus de transport des sédiments, mais aussi sur l'origine d'une contamination. Ainsi, en août 2011, une légère contamination au césium 134 des thons pêchés en Californie a montré qu'ils avaient migré depuis les eaux japonaises.

Sabine Charmasson

Chercheuse océanographe à l'IRSN

REPÈRES – Éditeur : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire - Membre d'Etson MEMBER OF **ETSON** – 31, avenue de la Division-Leclerc, 92260 Fontenay-aux-Roses – Tél. : 01 58 35 88 88 – Site Internet : www.irsn.fr – Courriel : reperes@irsn.fr – Directeur de la publication : Jean-Christophe Niel – Directrice de la communication : Marie Riet-Hucheloup – Rédactrice en chef : Catherine Roulleau – Assistante de rédaction : Isabelle Cussinet – Ont collaboré à ce numéro : Agnès Dumas, Octavia Verry, Pascale Monti – Comité de lecture : Louis-Michel Guillaume – Rédaction et réalisation, maquette et direction artistique : ABG Communication – Iconographie : Sophie Léonard – Photos de couverture : © Célia Goumard/Médiathèque IRSN ; bas, © Florence Levillain/Signatures/Médiathèque IRSN – Impression : Handiprint (50) – Imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement – ISSN : 2103-3811 et 2491-8776 (Web) – avril 2021.


**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**
*Liberté
Égalité
Fraternité*

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Expérimentation animale

De nouveaux engagements

L'information du citoyen sur les raisons et les conditions d'utilisation d'animaux à des fins scientifiques ou réglementaires occupe une place centrale dans la nouvelle Charte de transparence proposée par le Gircor (Groupe interprofessionnel de réflexion et de communication sur la recherche). L'IRSN vient de la signer, aux côtés d'autres instituts de recherche publics et privés. Il s'engage ainsi à être transparent sur ses pratiques en matière de recours aux animaux, à diffuser cette information et à faciliter les échanges avec le grand public et les médias. Chaque année, l'Institut participera à la rédaction d'un rapport récapitulatif des progrès réalisés par les signataires pour communiquer sur ce sujet. Au Royaume-Uni, un concordat aux objectifs similaires a été signé en 2014 par plus d'une centaine d'établissements de recherche publics et privés. Selon le Gircor, « cette initiative a permis de limiter la défiance de l'opinion publique sur la recherche animale et cela contribue à son acceptabilité ».

WWW Pour en savoir plus :
Charte de transparence sur le recours aux animaux
www.recherche-animale.org/charte-transparence

RADIOÉCOLOGIE MARINE

23 stations

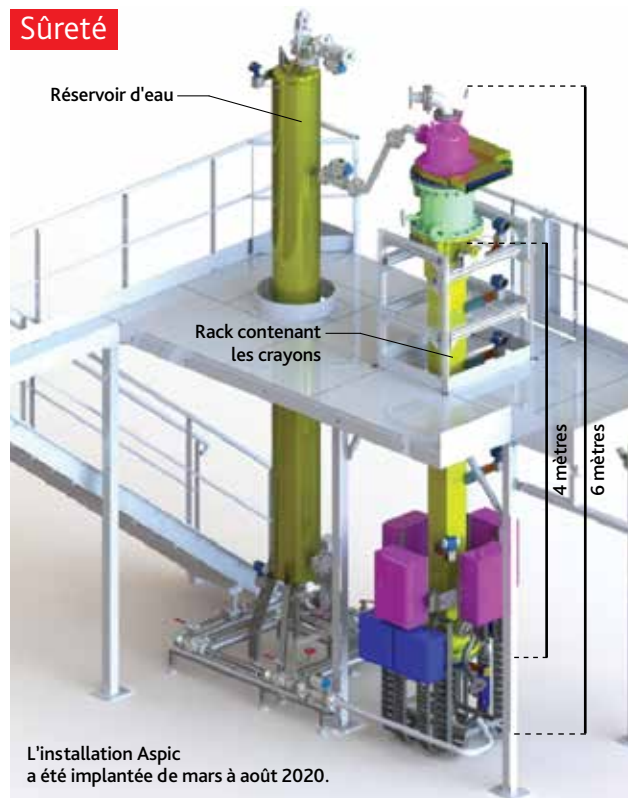
de surveillance marine de l'IRSN effectuent une veille permanente des niveaux de radioactivité sur les côtes de la Métropole.

500 prélèvements

sont effectués chaque année au titre de la surveillance des façades maritimes métropolitaines : Atlantique, Méditerranée, Manche et mer du Nord.

Retrouver le dossier
Radioécologie marine en page 10.

Sûreté



L'installation Aspice a été implantée de mars à août 2020.



Dénoyage des combustibles usés Aspice explore l'efficacité de l'aspersion

Comment limiter l'augmentation de la température d'un assemblage combustible entreposé en piscine, partiellement ou totalement découvert, à l'aide d'un système d'aspersion ? Dix ans après l'accident de Fukushima Daiichi, le dispositif expérimental Aspice* permet d'étudier cette question. « Nous voulons vérifier sous quelles conditions la diffusion d'eau [aspersion] sur un assemblage peut le refroidir, de façon à retrouver un état de sûreté suffisant, résume Guillaume Brillant, ingénieur chercheur en charge des essais avec Aspice. Cette étude contribuera à évaluer s'il permet effectivement de limiter les conséquences d'un accident de dénoyage. »

Faire face à un accident

Constitué de 264 crayons simulant le comportement thermique de crayons de combustible, ce dispositif de quatre mètres de haut est relié à un réservoir d'eau. Cette structure, dont l'installation a mobilisé une dizaine de personnes durant six mois, est opérationnelle au sein du Laboratoire d'expérimentation en mécanique et matériaux (LE2M) de Cadarache (Bouches-du-Rhône).

Une série de 27 essais est planifiée jusqu'à la fin de l'année. Les chercheurs feront varier divers

paramètres : puissance thermique de l'assemblage, niveau d'eau dans la piscine, débit d'aspersion, température de l'assemblage au début de l'opération, etc. Un premier rapport précisant dans quelles circonstances un système d'aspersion peut abaisser la température d'un assemblage sera publié d'ici fin juin.

À Fukushima Daiichi, la perte des moyens de refroidissement de la piscine d'entreposage du réacteur n° 4 – qui contenait des assemblages combustibles déchargés depuis peu du cœur du réacteur – a fait craindre un dénoyage et un relâchement des produits radioactifs.

* Assemblage pour l'étude du dénoyage de piscine combustible.

WWW Pour en savoir plus :
Projet Denopi www.irsn.fr/denopi



Guillaume Brillant, chercheur en thermohydraulique, devant une grappe d'essai d'un assemblage combustible.

© Philippe Dureau/Médiateur IRSN

Environnement



© Justo Cabrera/IRSN

Descente en nacelle dans le puits pour la mise en place de l'expérimentation.

“Creuser un puits vertical d'un mètre de diamètre, en préservant la roche en paroi, est un défi technologique.

Stockage des déchets Étudier « les portes » de Cigéo

“Les résultats obtenus avec le dispositif expérimental VSEAL 1¹ aideront les experts à évaluer la sûreté du centre de stockage géologique de déchets radioactifs de la Meuse [Cigéo] après sa fermeture », explique Alexandre Dauzères, géochimiste à l'IRSN². Les chercheurs étudieront *in situ* le scellement des puits verticaux, servant à rejoindre les galeries souterraines, et analyseront leur efficacité : perméabilité aux gaz et à l'eau.

Le dispositif, à l'échelle 1/10^e, consiste en un puits vertical – 1 mètre de diamètre, 10 mètres de profondeur – fermé par un « noyau d'argile gonflante » de 3,5 mètres de hauteur, semblable à celui prévu pour Cigéo. « Dans le véritable stockage, au contact de l'eau infiltrée, ce noyau devra se

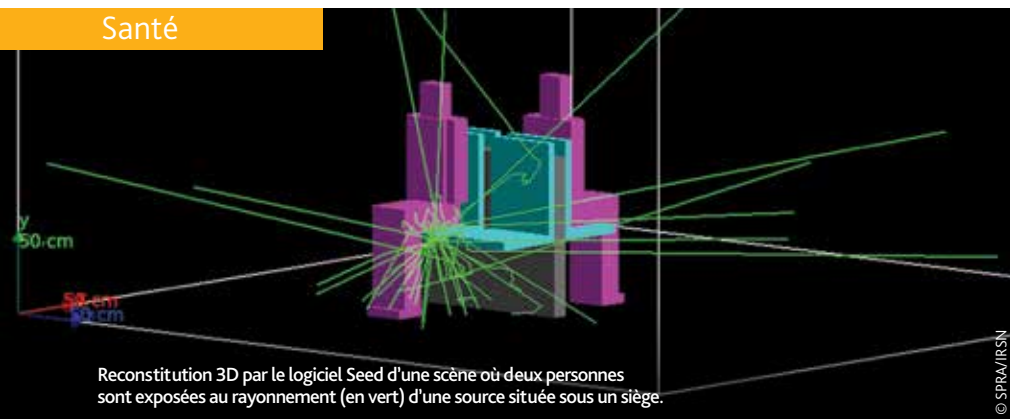
dilater, sceller le puits et le rendre quasiment étanche. Cette étanchéité sera primordiale pour prévenir des remontées importantes de radionucléides. Mais il faut s'assurer que l'hydrogène produit par la corrosion des métaux composant les colis de déchets ne limitera pas la saturation du scellement », précise le géochimiste. Le puits a été foré et le noyau argileux de VSEAL 1 mis en place au laboratoire de recherche souterrain de l'IRSN à Tournemire (Aveyron).

Cette étude complète les modélisations des comportements hydrique et mécanique conduites en laboratoire à l'échelle 1/100^e.

1. Pour Vertical Sealing, « scellement vertical ».

2. Laboratoire d'étude et de recherche sur les transferts et les interactions dans les sous-sols (Letis).

Santé



Reconstitution 3D par le logiciel Seed d'une scène où deux personnes sont exposées au rayonnement (en vert) d'une source située sous un siège.

© SPRAY/IRSN

Accident radiologique La reconstitution dosimétrique gagne en précision

“Seed [Simulation des expositions externes et dosimétrie] fournit une reconstitution dosimétrique précise, en modélisant l'événement radiologique sur le terrain. » Pour Christelle Huet, chercheuse en dosimétrie externe, c'est là l'avantage clé de ce logiciel en développement.

Déployé sur site après un accident ou une malveillance, il estime en moins de 24 heures la dose externe reçue par les victimes. Cette dosimétrie précise renseigne sur l'atteinte des tissus. Elle aide à poser un diagnostic et à définir une stratégie thérapeutique. Aujourd'hui, la reconstitution dosimétrique

utilise des codes Monte-Carlo. Or celle-ci exige le scénario précis d'irradiation. Parce qu'il est utilisé sur site, et donc en lien avec les témoins et les victimes, Seed assure un meilleur recueil des données et permet ainsi de répondre à ces exigences. Il simule ensuite la dose reçue en fonction du type de source, du radioélément, de la distance à la victime, de la durée d'exposition, etc.

Développé avec le Service de protection radiologique des armées dans le cadre d'une thèse, Seed a été validé expérimentalement. Sa mise en œuvre sur le terrain sera confirmée lors d'un exercice de crise.

Réacteur à haut flux de Grenoble

Réexamen périodique : les conclusions de l'IRSN

À l'occasion de son évaluation¹ de la sûreté du réacteur de recherche² de Grenoble (Isère), l'IRSN souligne l'important travail mené par l'Institut Laue-Langevin (ILL) pour vérifier la conformité de l'installation aux exigences applicables et réévaluer sa sûreté. Cette expertise a impliqué une quinzaine d'équipes : génie civil, incendie, fiabilité des systèmes, thermo-hydraulique...

L'Institut considère que les dispositions du « noyau dur » permettraient – même en cas d'aléas extrêmes – le refroidissement des combustibles dans le cœur et la piscine d'entreposage. Des vérifications complémentaires doivent être effectuées pour garantir que les composants du noyau dur sont aptes à assurer leurs fonctions en cas de séisme extrême.

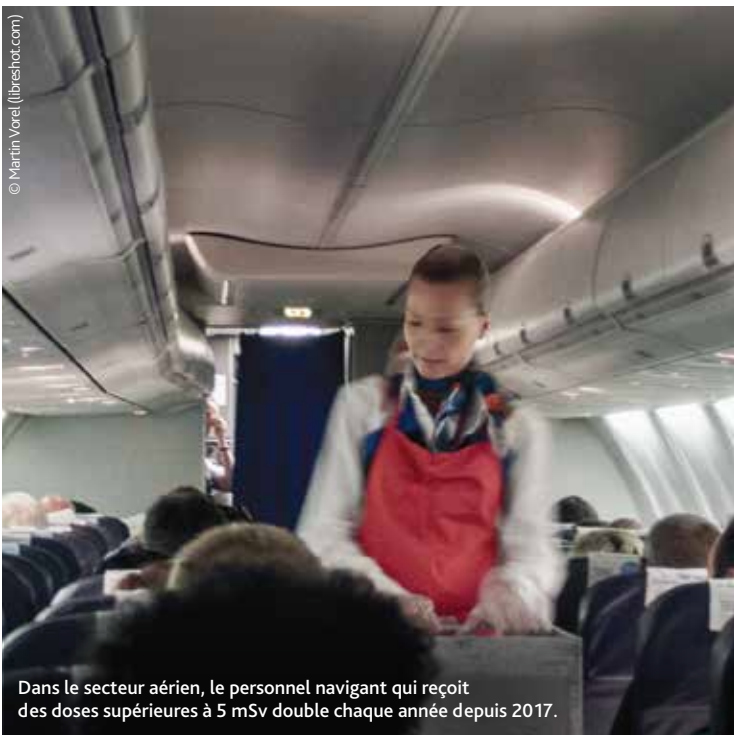
Cependant, le pont de manutention du bâtiment du réacteur, appelé aussi point polaire, doit être renforcé pour garantir sa stabilité, notamment en cas de séisme extrême. Pour les experts, ces travaux sont à réaliser dans les meilleurs délais.

L'ILL devrait mettre en œuvre d'ici trois ans la majorité de la cinquantaine d'engagements qu'il a pris à l'issue de ce troisième réexamen de sûreté.

1. www.irsn.fr/Avis-2020-173

2. Le réacteur à haut flux est utilisé en physique de la matière, biologie moléculaire...

FAITS ET PERSPECTIVES



Dans le secteur aérien, le personnel navigant qui reçoit des doses supérieures à 5 mSv double chaque année depuis 2017.



Lors des opérations de maintenance nucléaire, des tenues ventilées protègent contre le risque de contamination atmosphérique.

Exposition des travailleurs aux rayonnements

La dose individuelle augmente de 7 %

L'IRSN publie fin 2020 un bilan annuel résumant les expositions des professionnels aux rayonnements ionisants en France. En 2019, ils étaient plus nombreux à être suivis. Leur exposition collective a augmenté en moyenne de 8 %, portée principalement par le nucléaire et l'aviation civile.

Infirmier, personnel navigant, décontamineur, vétérinaire... Plus de 395 000 travailleurs sont suivis en France pour un risque d'exposition aux rayonnements. Ils reçoivent une dose collective¹ en hausse de 8 % par rapport à 2018, indique fin 2020 le bilan 2019 des expositions professionnelles. D'une valeur de 1,20 mSv, la dose individuelle moyenne² sur l'effectif exposé est quant à elle en hausse de 7 %. Cinq domaines d'activité sont concernés : l'aviation civile, le nucléaire, l'industrie non nucléaire, les activités médicales et vétérinaires et la recherche. Le bilan liste les mesures d'expositions externes et des contaminations internes.

Par rapport à 2018, l'effectif suivi augmente de 1,2 %. « Cette tendance confirme la progression constatée sur les années précédentes (environ 1 % par an). Cela montre une progression du suivi des travailleurs exposés

en France », observe Philippe Lestaavel, coordinateur du bilan pour l'IRSN.

Quelque 8,6 % des travailleurs ont reçu plus de 1 mSv, la dose réglementaire pour la population générale. Cinq professionnels ont dépassé la dose maximale de 20 mSv, un chiffre dans la lignée des années précédentes. Quatre officiers dans le domaine médical et le cinquième dans l'inspection et le contrôle.

L'exposition moyenne dans les activités médicales et vétérinaires est stable (0,30 mSv).

Le nucléaire et l'aviation civile

L'augmentation de la dose collective est portée surtout par le nucléaire et l'aviation.

« Les maintenances du parc nucléaire ont augmenté en 2019 à la suite des visites décennales », précise le spécialiste. L'exposition de ces travailleurs connaît une croissance de 4 % par rapport à 2018.

Dans l'aviation civile, la hausse est due à une exposition naturelle au rayonnement cosmique accrue lors de certains vols. « Cela tient aux cycles solaires – dans une phase plus rayonnante que les années précédentes – et à des itinéraires plus hauts ou plus proches des pôles », explique Philippe Lestaavel. La dose moyenne est de 2 mSv dans ce domaine. Aucun dépassement du seuil maximal de 20 mSv n'est constaté. Une vigilance doit demeurer : le personnel navigant qui reçoit des doses supérieures à 5 mSv double chaque année depuis 2017. En 2019, cela concerne 91 personnes, sur un total de 24 000.

Éviter les erreurs de classement

Les données d'expositions internes sont issues d'examens médicaux : analyses radio-toxicologiques des urines ou des selles. « Elles sont collectées auprès des laboratoires d'analyses accrédités, qui transmettent ensuite les résultats au registre national des doses, Siseri³ », détaille Juliette Feuardent, spécialiste du suivi des expositions professionnelles.

Les données d'expositions externes sont mesurées par des dosimètres achetés par les employeurs auprès des organismes de

PROCESS

Quelles expositions dans la sous-traitance nucléaire et la médecine nucléaire ?

Dans le nucléaire, les doses reçues par les sous-traitants augmentent de 13 %. Côté santé, ce sont les travailleurs exerçant en médecine nucléaire qui sont les plus exposés. Ces données, et beaucoup d'autres, sont issues du dernier bilan annuel sur l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France, édité par l'Institut (chiffres 2019).

Sous-traitants du nucléaire : pas de dépassement de la limite de dose

Dose individuelle ⁽¹⁾

1,89



2019

Effectifs
(prestataires de logistique et maintenance du nucléaire)

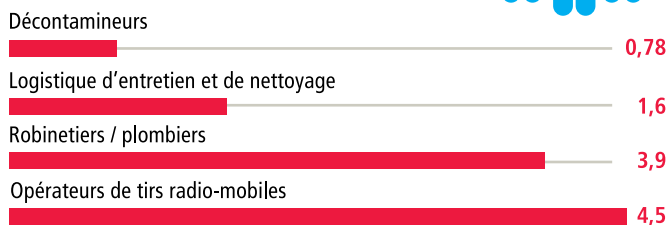
31 891



L'exposition interne est prise en compte

La dose externe* des prestataires est en hausse de 13 %. Elle représente plus des deux tiers de la dose collective du domaine nucléaire. En 2019, pour la première fois, leur exposition interne* est prise en compte. Le pourcentage d'analyses positives (1 % - 33 travailleurs prestataires) est supérieur aux travailleurs du nucléaire (0,4 %). Pour l'exposition interne, les doses efficaces engagées restent faibles (< 1 mSv).

Par métiers ⁽¹⁾



L'avis de... Patrick Jolivet

Expert en radioprotection des installations nucléaires

« Les prestataires réalisent souvent des opérations sur le circuit primaire des réacteurs – soudage, découpes de tuyau, calorifugeage, etc. – potentiellement les plus “dosantes”. Ils font l'objet d'un suivi particulier depuis une dizaine d'années. Les doses individuelles en jeu sont plus faibles que dans les années 1990. Néanmoins, les bilans confirment toujours une surexposition par rapport aux autres travailleurs du nucléaire. Elle s'explique aussi par la hausse des travaux de maintenance sur le parc en 2019. »

* Composantes externe et interne de la dose efficace, une grandeur de radioprotection qui mesure l'impact d'une exposition à un rayonnement ionisant sur les tissus biologiques.

Médecine nucléaire : le secteur de la santé le plus exposé

Dose individuelle ⁽¹⁾

0,83



2017

0,82



2019

Effectifs

6 114



2017

7 049

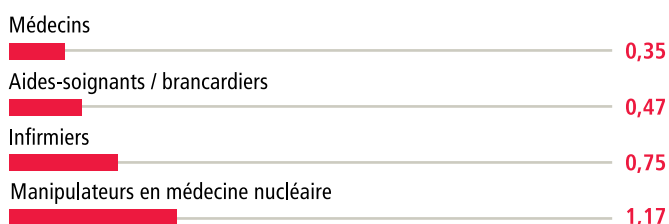


2019

L'exposition augmente au plus près du patient

Les professionnels de la médecine nucléaire sont les plus exposés au sein des métiers de la santé. En effet, ils manipulent des médicaments radioactifs pour réaliser des examens d'imagerie ou traiter les patients. Ils bénéficient de plusieurs suivis : corps entier, mains et/ou contamination interne. Les professions les plus exposées – manipulateurs en électroradiologie, infirmiers, aides-soignants – sont celles qui travaillent au plus près des patients, lesquels deviennent radioactifs après injection du médicament.

Par métiers ^{(1) (2)}



L'avis de... David Célier

Expert en radioprotection médicale

« Les manipulateurs en électroradiologie sont les travailleurs de médecine nucléaire les plus exposés au niveau du corps entier, mais aussi des mains, car ils préparent et injectent les médicaments radioactifs. L'étude ciblée réalisée dans le bilan 2019 montre que leur exposition est plus basse lorsqu'ils utilisent des dispositifs automatisés de préparation et d'injection des traceurs radioactifs de tomographie par émission de positons [TEP**]. Ces résultats plaident pour l'extension de leur usage. »

** La TEP est une technique d'imagerie beaucoup utilisée en cancérologie.

(1) Exposition externe, dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé, en mSv.

(2) Données 2017 issues d'une analyse ciblée portant seulement sur une partie des travailleurs.

Source : Bilan 2019 de l'IRSN « Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France ».

dosimétrie accrédités, qui transmettent aussi les résultats à Siseri. « L'employeur est tenu de fournir des informations sur l'activité, le métier et le contrat du travailleur. Ainsi, nous pouvons affiner les analyses et tirer des enseignements pertinents pour chaque secteur d'activité », souligne la spécialiste. Cette méthodologie aide à éviter des erreurs de classement de certains travailleurs « en radiothérapie par exemple, alors qu'ils

interviennent en réalité en radiographie industrielle », précise le bilan.

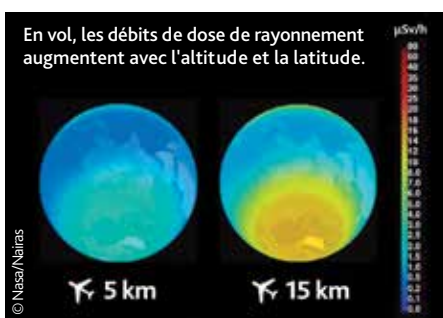
Ce travail est utile aux partenaires de l'Institut : la direction générale du travail (DGT) et l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Ses indications ont fait évoluer la réglementation et les pratiques pour les faibles expositions, par exemple (lire p. 8). L'IRSN signale les dépassements de dose à ses partenaires, qui peuvent procéder à des

inspections. Le bilan pointe notamment deux dépassements chez des transporteurs de source radioactive pour le médical.

Accessible en ligne

Le bilan est une source d'information pour les professionnels du nucléaire, du médical, de l'industrie, etc. Employeurs, organisations professionnelles ou syndicats peuvent s'en saisir pour améliorer leurs pratiques.

FAITS ET PERSPECTIVES



Citoyens et journalistes y ont aussi accès. Cette année, il est également disponible⁴ sous forme numérique. « Peu de personnes ont le temps de décortiquer 150 pages pour trouver, par exemple, le nombre de travailleurs de l'industrie suivis pour la dosimétrie du cristallin. Grâce à son moteur de recherche, l'utilisateur trouve une information en quelques clics. Il peut même visualiser son évolution dans le temps », illustre Philippe Lestaevel.

Les données utilisées par les synthèses de ce bilan sont téléchargeables. Les acteurs de la radioprotection peuvent les réutiliser dans des outils de calcul ou de représentation graphique. Par exemple, pour comparer le bilan dosimétrique de leur entreprise avec les autres moyennes observées dans le même domaine d'activité. « Cette mise à disposition des données illustre la démarche de l'IRSN pour s'inscrire dans une dynamique d'ouverture des données », conclut Pascale Scandff, spécialiste des données. ■

1. Somme des doses individuelles, elle est calculée pour tous les travailleurs suivis.
2. Elle équivaut à la dose collective divisée par le nombre de travailleurs dont la dose dépasse le seuil d'enregistrement.
3. Système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants.
4. La version numérique et interactive : expro.irsn.fr

www Pour en savoir plus : Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France en 2019 www.irsn.fr/travailleurs-2019

WEBMAGAZINE



VIDÉO
La mise à disposition de données publiques
www.irsn.fr/R42



VIDÉO
L'exposition des travailleurs
www.irsn.fr/R43

Quelle est la tendance sur les cinq dernières années ?

Le nombre de travailleurs suivis augmente de manière faible – 1,2 % par an – mais régulière. La proportion de ceux n'ayant aucune dose au-delà du seuil d'enregistrement des dosimètres progresse aussi, de 71 % à 76 % entre 2015 et 2019. L'évolution de la dose collective suit celle du domaine nucléaire. Elle est liée aux opérations de maintenance du parc électronucléaire. Enfin, dans l'aviation civile, le nombre de travailleurs dont l'exposition dépasse 5 mSv augmente.

Les bilans font-ils évoluer la réglementation ?

Les précédents bilans soulignaient, dans certains secteurs, un nombre important de travailleurs suivis, mais très peu, voire pas exposés. Certaines dispositions du décret n° 2018-437 du code du travail ont été définies grâce à ce retour d'expérience. Si l'évaluation préalable montre une exposition en deçà d'un seuil, le suivi n'est pas obligatoire. Aucun risque d'exposition n'est ainsi retenu pour un assistant dentaire qui n'entre pas en salle lors

d'une radiographie. Il ne porte pas de dosimètre.

Le bilan est-il facile à faire ?

Les résultats du suivi de l'exposition interne ne sont pas toujours bien saisis dans le Siseri³ (lire ci-contre). Nous travaillons avec les organismes accrédités pour corriger cette difficulté. Seules 57 % des données d'exposition externe renseignées par l'employeur sont complètes quant au contexte de l'exposition : activité, métier, type de contrat, etc. Pourtant, il s'agit d'une obligation réglementaire. Le post-traitement chronophage de ces informations manquantes nous incombe.

3 questions à...

Juliette Feuardent

Spécialiste du suivi des expositions professionnelles



© Georges Coué

L'exposition du cristallin aux rayonnements ionisants en Europe



© A. Degan/ABC Communication/Médiathèque IRSN/Magazine Repères

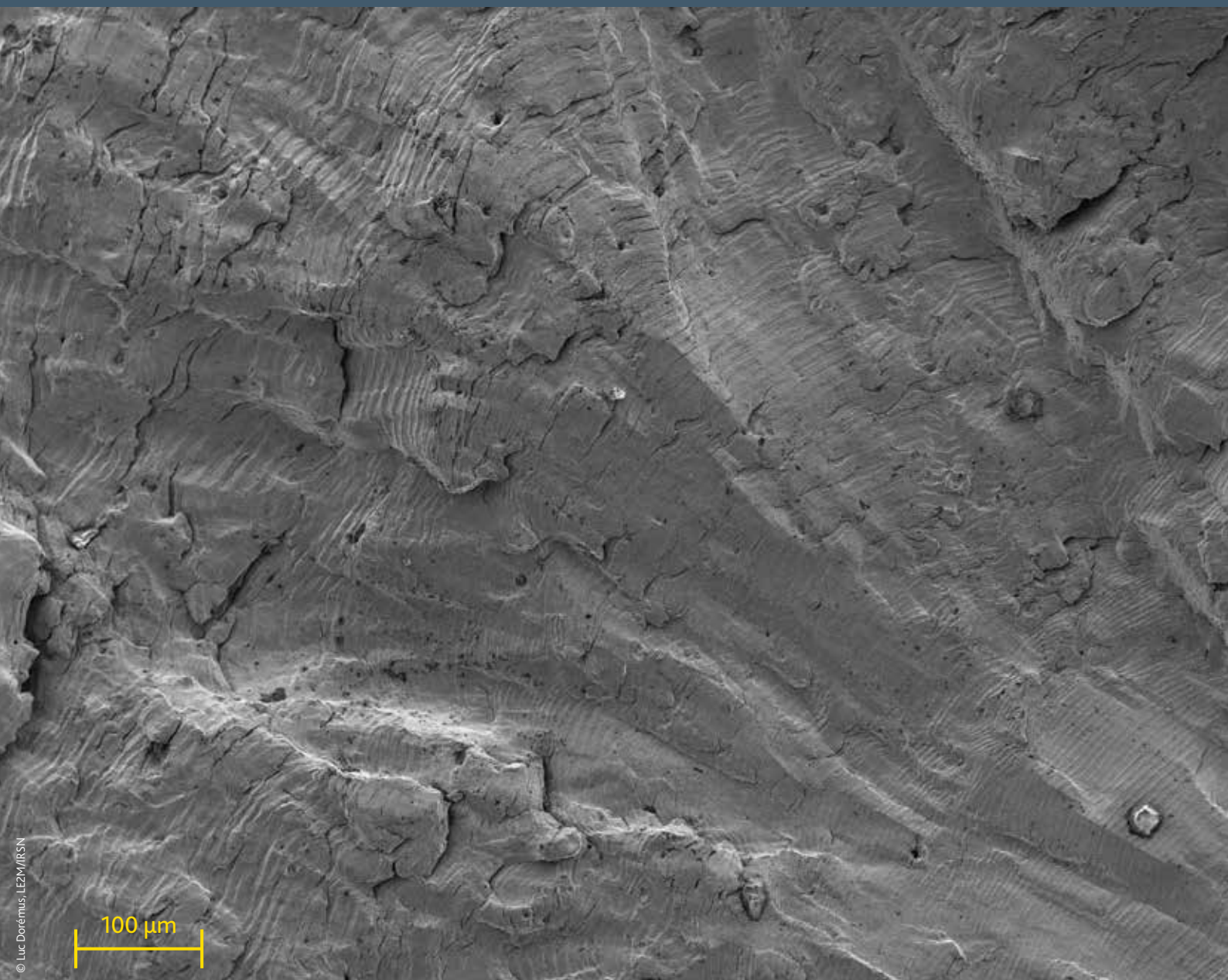
AILLEURS

L'intérêt européen pour le cristallin

Si le suivi de l'exposition du cristallin de l'œil aux rayonnements ionisants progresse d'année en année, son hétérogénéité est marquée d'un pays à l'autre. C'est ce que montre la plateforme Esorex¹, qui agrège les données de suivi de 22 pays européens. Quatre d'entre eux – Allemagne, France, Grèce, Lituanie – ont renseigné ce paramètre. « En Allemagne, les effectifs totaux de travailleurs suivis pour l'exposition externe sont du même ordre de grandeur qu'en France. Or, en 2017, l'exposition du cristallin a été suivie pour seulement

380 d'entre eux, contre 2 516 dans l'Hexagone² », relève Philippe Lestaevel. « Ce suivi devrait fortement progresser dans les années à venir du fait de l'application de la directive européenne 2013/59/Euratom, abaissant le seuil maximal de 150 mSv à 20 mSv », tempère l'expert. Cette surveillance sanitaire est cruciale car l'exposition du cristallin aux rayonnements ionisants accroît le risque que celui-ci s'opacifie.

1. www.esorex-platform.org
2. Effet de la prise de conscience du risque lié à l'exposition du cristallin en France.



Rompu de fatigue

Walter-John Chitty

Chercheur en mécanique des matériaux

Les fines ondulations qui parcourent cette image ne sont pas sans rappeler les strates géologiques des célèbres falaises normandes d'Étretat. Il s'agit en fait d'une observation au microscope électronique à balayage de la section d'un cylindre en acier, passé à l'épreuve du dispositif expérimental EVA (Étude du vieillissement des aciers), à découvrir dans le dossier du numéro 47 de *Repères* sur www.irsn.fr/R47. Mesurant moins d'un micromètre de large, chaque strie zébrant le cliché résulte de l'avancée d'une fissure, par cycle de

contraintes. Ces contraintes sont appliquées par la nouvelle « machine de fatigue » du Laboratoire d'expérimentation en mécanique des matériaux (LE2M) de Cadarache (Bouches-du-Rhône). La distance entre deux stries renseigne sur la vitesse de propagation de la fissure.

L'échantillon est immergé dans un milieu aqueux porté à 300 °C sous une pression de 155 bars. Dans cet environnement qui reproduit les conditions du circuit primaire d'une installation nucléaire, la structure cylindrique est étirée puis comprimée à

de multiples reprises jusqu'à la rupture. La finalité de ces tortures est d'établir des courbes de fatigue des éléments en acier inoxydable du circuit primaire, en tenant compte des forts niveaux de pression et de température auxquels ils sont soumis. Une fissure progressant vite entre deux cycles de contraintes indique que la pièce se brisera plus rapidement qu'une autre dont les fissures se déplaceraient plus lentement. Initiés début 2020, ces essais visent à anticiper le vieillissement de certains composants du circuit primaire d'une centrale nucléaire. ■



Les radioécologistes Philippe Laguionie (à gauche) et Denis Maro (à droite) retirent un carottier du sol, dans la baie du Mont-Saint-Michel (Manche). Les carottes de sédiments permettent de reconstituer l'historique des rejets de radionucléides en mer.

40 à 500

Ce sont les facteurs respectifs de diminution des rejets maritimes des émetteurs alpha et bêta (hors tritium) liés aux opérations de retraitement de La Hague depuis les années 1980.

Radioécologie marine

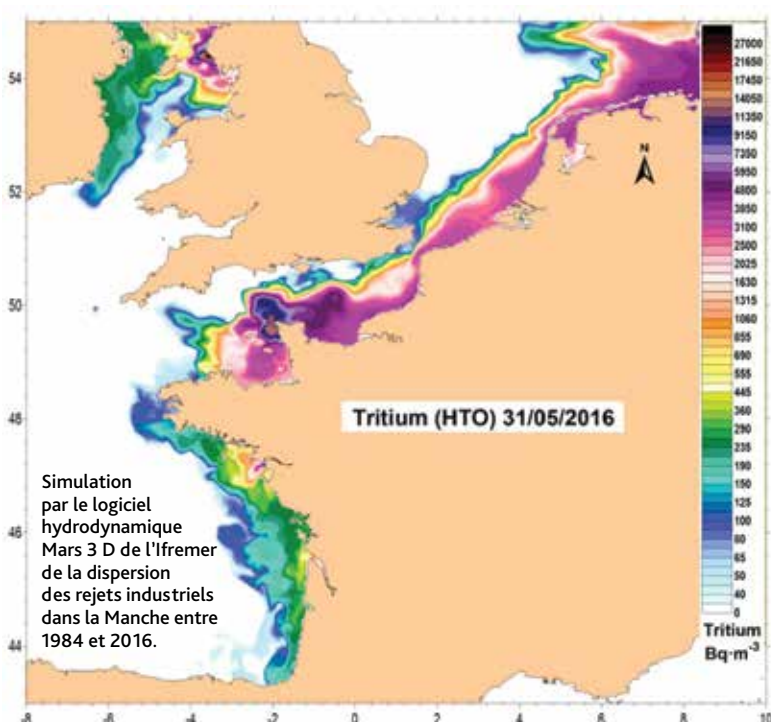
La surveillance s'améliore

Le littoral français bénéficie d'une surveillance radiologique continue. L'usine de retraitement de La Hague alimente de nombreuses études : suivi des rejets radioactifs, modélisation des transferts de radionucléides au sein des écosystèmes, mesure des effets sur l'homme et l'environnement... Les modèles et outils développés intègrent aussi les leçons de l'accident de Fukushima Daiichi.

Janvier 2006, le chimiquier *Ece* fait naufrage au large de La Hague. Mars 2011, un accident survient à la centrale de Fukushima Daiichi (lire p. 14). Pour chacune de ces crises, l'Institut estime le risque de pollution et suit la contamination de l'écosystème. Avec ces données, chercheurs et experts optimisent leurs modèles. Objectif : mieux évaluer les répercussions d'une pollution sur l'environnement et la santé humaine. L'accident nucléaire nippon, le seul survenu en milieu marin, est une source de connaissances.

Quelle pollution du Pacifique ?

Dès mars 2011, l'IRSN crée la cellule mer. Elle compte six spécialistes de la contamination et des écosystèmes du Laboratoire de radioécologie de Cherbourg-Octeville (LRC, Manche) et de l'antenne méditerranéenne du Laboratoire d'études radioécologiques en milieu continental et marin (LERCM, Bouches-du-Rhône).



Durant quatre ans, l'entité évalue les conséquences de l'accident. « À Fukushima, les retombées atmosphériques et les rejets liquides ont contaminé la mer », évoque radioécologiste Pascal Bailly du Bois, chargé à l'époque à l'IRSN des études de dispersion de la radioactivité en mer. Fin mars, l'eau utilisée pour refroidir le cœur du réacteur, qui a contaminé les eaux de ruissellement, est détectée dans l'océan. À partir du 4 avril, la cellule mer publie une carte « temps réel » de la radioactivité autour de la centrale.

Plusieurs radionucléides sont identifiés. Les principaux sont l'iode 131 et les césiums 137 et 134. « Avant l'accident, les concentrations en césium 137 dans l'eau du littoral japonais étaient de 1 à 3 Bq/m³. Après, elles dépassaient les 30 000 000 Bq/m³ ! Quant à l'iode 131, indétectable avant l'accident, il atteignait fin mars les 180 000 000 Bq/m³, des chiffres inédits en milieu marin », précise Pascal Bailly du Bois.

En adaptant le modèle Mars 3D¹, l'IRSN cartographie dès 2011 l'évolution des concentrations en iode 131 et en césium 137. « Elles sont représentatives de tous les radionucléides rejetés au sein d'une zone de 30 x 50 kilomètres autour de la centrale », note le radioécologiste.

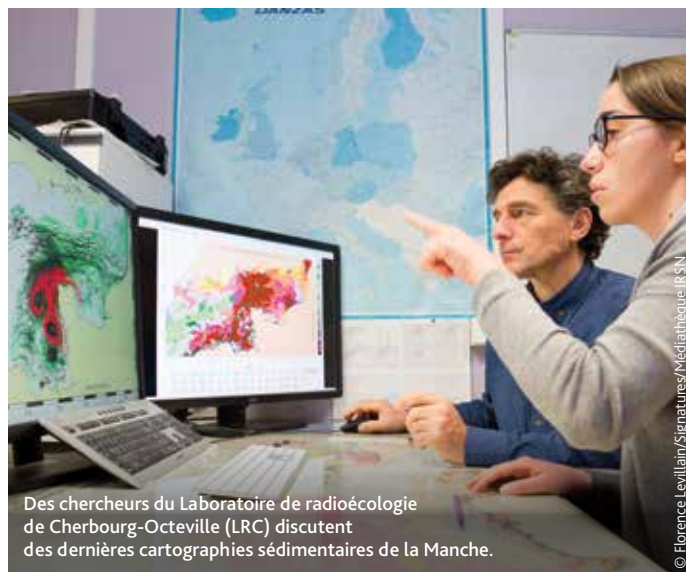
Alors que l'iode 131 disparaît en quelques semaines, le césium 137 est mesuré à long terme et à grande distance (demi-vie, trente ans). Les scientifiques évaluent le terme source, soit la quantité globale des principales sources de césium 137 rejetées en mer sous forme liquide. Il s'élève de 12 à 41 pétabecquerels. « C'est environ le dixième des rejets atmosphériques de l'accident de Tchernobyl. C'est aussi l'ordre de grandeur de quarante ans de rejets maritimes d'une usine de retraitement », précise le chercheur.

Dispersés au large, intégrés au vivant

Les côtes de la préfecture de Fukushima sont exposées au courant Kuroshio, l'équivalent pacifique du Gulf Stream. « Cela a favorisé l'export des radionucléides et leur dispersion au centre du Pacifique. Les concentrations mesurées diminuaient vite, divisées par deux tous les 6,9 jours », indique Pascal Bailly du Bois. À la fermeture de la cellule mer, début 2016,



Céline Duffa, chercheuse océanographe (à droite), prélève la bouteille Niskin d'eau de mer pour la mesure des matières en suspension.



Des chercheurs du Laboratoire de radioécologie de Cherbourg-Octeville (LRC) discutent des dernières cartographies sédimentaires de la Manche.

“ Onze fiches marines guideront les décideurs sur les actions prioritaires à mener.

les rejets sont moindres. La dilution aidant, les concentrations en radionucléides dans l'eau sont faibles.

La radioactivité de l'eau se propage néanmoins à tout l'écosystème marin, dont les espèces pêchées. « En 2011, les modèles permettaient uniquement de trouver des concentrations moyennes en radionucléides dans les poissons, à partir du niveau de contamination dans l'eau », se souvient Sabine Charmasson, chercheuse océanographe. Or, pour prédire l'évolution de la contamination dans la faune marine à moyen et long terme, il faut tenir compte de son intégration dans les réseaux trophiques² (lire p. 13).

Les poissons vivant dans les sédiments

Pour sa thèse, Mokrane Belharet, spécialiste des environnements marins, modélise le transfert du césium dans les phyto- et zooplancton et dans les poissons vivant dans la colonne d'eau de la côte est du Japon. Le jeune chercheur estime le temps qu'il faut à chaque espèce pour retrouver les concentrations d'activité de césium 137 d'avant l'accident, surtout dues aux tirs atmosphériques. Cette durée est de cinq ans pour les planctivores et de six à quatorze ans pour les carnivores. La pêche au large est toujours surveillée au nord-est du Japon. « Il faut aussi considérer les poissons benthiques, ceux qui rasent le fond. Vivant dans les sédiments, leur contamination reste plus élevée sur le long terme », précise Sabine Charmasson.

En France, nombre d'installations nucléaires sont en bord de mer. Après l'accident nippon, l'IRSN développe l'outil Sterne³. Il détermine en temps réel la dispersion de radionucléides et leur teneur dans les

12 à 41

pétabecquerels, c'est l'ordre de grandeur de la quantité de césium rejeté en mer dans les trois à quatre semaines qui ont suivi l'accident de Fukushima. Une usine de retraitement en rejette autant en environ quarante ans.

sédiments, comme le vivant. Il est testé dès 2013. L'Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest (Acro) mesure à l'époque un taux élevé de tritium dans l'eau de la baie d'Écalgrain (Manche). Pourquoi ? « Entre 16 et 48 heures après le rejet, la dispersion dépend des marées et des conditions météorologiques, explique Pascal Bailly du Bois. Cette fluctuation hydrodynamique peut faire varier rapidement les concentrations en tritium par rapport aux moyennes, sans impact sanitaire pour autant. »

Avec le projet Amorad, l'IRSN inventorie les zones littorales vulnérables aux contaminations radioactives. Fin 2020, onze fiches sont élaborées. Elles répertorient la nature des fonds marins, les courants, les zones de pêche, d'activités touristiques, les espèces biologiques et celles protégées, etc.

« Connaître le fonctionnement hydrodynamique de ces zones et leur sensibilité, est indispensable pour évaluer les conséquences d'une contamination, indique Céline Duffa, chercheuse océanographe, spécialiste des transferts physiques de radionucléides. Ces fiches guideront les décideurs sur les actions prioritaires à mener. » ■

1. Code développé par l'Ifremer, dédié à la modélisation océanographique côtière à des échelles régionales ou littorales.
2. Ensemble de chaînes alimentaires reliées au sein d'un écosystème.
3. Simulation du transport et du transfert d'éléments radioactifs en environnement marin.

WEBMAGAZINE

Ma thèse en connaît un rayon

www.irsn.fr/R49



PODCAST
Adrien Delaval
Du fleuve à la mer : la trajectoire d'un polluant

Pour protéger le milieu marin, la science avance

Les radionucléides rejetés en mer diffusent vers le vivant et l'environnement. Comment migrent-ils dans les écosystèmes ? Quels phénomènes physiques les remettent en suspension ? Pour répondre à ces questions, des recherches sont menées dans plusieurs mers et océans à la surface du globe.

Comme pour l'air, le sol et les aliments, l'Institut assure une veille des niveaux de radioactivité dans les mers qui bordent l'Hexagone. Vingt-trois stations de prélèvements surveillent l'eau, les algues, les sédiments... Celles « sous l'influence » des rejets des installations nucléaires mesurent les radionucléides artificiels et naturels pour détecter tout rejet anormal. Les autres, dites « de référence », mesurent le « bruit de fond » radioactif naturel et celui dû aux activités humaines du passé, non influencé par des installations proches. Les mesures sur les prélèvements se concentrent sur les radionucléides connus pour leur rémanence, tel le césium 137, introduits par les essais aériens d'armes nucléaires (1945-1980) et l'accident de Tchernobyl (1986).

Alors que l'impact sanitaire des installations nucléaires françaises s'avère négligeable, qu'en est-il après un accident, tel celui de Fukushima Daiichi en 2011 ? Que deviennent les radionucléides relâchés ? Comment prédire l'évolution d'une telle contamination à moyen et long terme ?

Le programme de recherche Amora¹, initié après l'accident japonais, étudie la propagation des rejets radioactifs dans les réseaux trophiques² en suivant des bio-indicateurs. Comment cette pollution passe-t-elle de l'eau au plancton, du plancton aux petits crustacés, des petits crustacés aux poissons de plus grande taille... pour arriver enfin à l'homme ?



Algues et mollusques, peu mobiles, concentrent la radioactivité. Ils sont des bio-indicateurs pour les chercheurs.

© Olivier Cazimajou/Médiateur IRSN

En 2019, la thèse de Mokrane Belharet procure quelques réponses nouvelles. Basée sur la simulation de dispersion des rejets de césium 137 dans l'eau à la suite de l'accident nippon, elle apporte des connaissances sur l'incorporation de ce radionucléide dans les espèces pélagiques de la côte pacifique japonaise, ces organismes vivant dans la colonne d'eau, entre la surface et le fond (*lire p. 12*).

Du plancton au poisson

Hors contexte accidentel, une autre thèse, débutée en 2020, étudie le transfert du césium 137 et du polonium 210 au sein de l'écosystème marin. Direction le golfe du Lion, dans le Sud de la France, où se jette le Rhône, dont les rives accueillent plusieurs installations nucléaires. « *L'objectif est de représenter l'écosystème local et d'y appliquer différents scénarios d'accidents. Il faut évaluer l'impact d'une contamination radioactive et sa transmission au cours du temps dans la chaîne trophique* », précise Sabine Charmasson, chercheuse océanographe.

Quantifier le transfert des radionucléides de l'eau vers le plancton est un défi. La radioactivité impacte en premier ces organismes, à la base des chaînes alimentaires. D'autres espèces se contaminent en les consommant. Ces populations planctoniques, très diverses, ont une durée de vie courte. Leur développement dépend des saisons et des aléas subis par la masse d'eau qui les abrite. Il est difficile de les échantillonner.

Lancé en 2019, le projet Needs-Droplet³ devrait améliorer la connaissance de ce premier maillon trophique. En 2020, six campagnes d'échantillonnage sont menées près de Toulon (Var), où les populations planctoniques sont bien connues. Des techniques de collecte adaptées au phytoplancton et au zooplancton sont déployées. « *Nous allons analyser quatre radionucléides dont le risque de rejet est élevé en cas d'accident nucléaire : le césium 137, le curium 244, les plutoniums 239 et 240. Des éléments traces métalliques seront aussi pris en compte* », détaille la chercheuse océanographe Céline Duffa.

Dans la Manche, à La Hague, autour de l'usine de traitement et recyclage de combustibles usés, les chercheurs étudient d'autres bio-indicateurs. Ils renseignent sur l'impact environnemental des installations. « *Il s'agit d'espèces peu mobiles. Elles sont présentes toute l'année, sur toute la zone d'intérêt. Elles concentrent ainsi beaucoup la radioactivité* », décrit le radioécologiste Bruno Fievet.

Algues et mollusques

Les bio-indicateurs retenus dans le golfe normand-breton sont l'algue *Fucus serratus* – facile à récolter à marée basse – et divers mollusques : huîtres, coquilles Saint-Jacques, moules et patelles. « *Les radionucléides rejetés ne se retrouvent pas instantanément dans ces organismes. Un équilibre s'établit avec l'eau et la cinétique dépend de l'espèce.* » Les algues concentrent l'iode 129 jusqu'à 100 000 fois. Plus elles sont proches de l'émissaire de rejets, plus ce taux est élevé. Le radionucléide se diluant dans la mer, cette concentration baisse ensuite rapidement à mesure que l'on s'éloigne du site.

Des mesures à Concarneau et à Roscoff (Finistère) – hors influence du site de La Hague – fournissent le « bruit de fond ». Ce niveau de base de radioactivité aide à déterminer la radioactivité due aux rejets.

L'usine de La Hague fait l'objet d'une surveillance continue par l'exploitant et régulièrement par les experts de l'IRSN, depuis sa mise en service en 1966. Les effluents liquides radioactifs issus du traitement-recyclage des combustibles usés sont rejetés en mer

FOCUS

Rejets marins de tritium

Quelle émanation vers l'atmosphère ?

Quelle proportion du tritium¹ rejeté en mer par l'usine de retraitement de La Hague se retrouve dans l'atmosphère ? Les scientifiques explorent ce phénomène le long de la zone côtière proche. Si ses effets sur l'homme sont négligeables, cette modélisation pourrait s'avérer utile pour d'autres pollutions marines.

En 2019, Olivier Connan, chercheur en radioécologie, réalise à plusieurs reprises des prélèvements d'eau de mer et de vapeur d'eau au sémaphore de Goury. Il est à 10 kilomètres de l'émissaire de rejets liquides en mer².

Entre 8 et 20 heures, il relève des variations de teneur en tritium, de 2 à 15 Bq/L. Ces activités vont bien au-delà du 1 Bq/L habituellement mesuré dans l'atmosphère, en équilibre avec les concentrations marines moyennes.

« Une seule explication était plausible : les activités atmosphériques de tritium étaient corrélées au

tritium rejeté dans l'eau de mer, puis évaporé », rapporte le scientifique.

Ce résultat conforte une hypothèse remontant à 2012. « À l'époque, nous avons placé un préleveur automatique de vapeur d'eau de l'air en bordure de mer pendant quinze jours. De fortes variations d'activité de tritium dans l'air avaient déjà été observées », se rappelle Pascal Bailly du Bois, radioécologiste.

En couplant des modèles de diffusion du tritium dans l'eau de mer (Mars 2D) et d'évaporation, Olivier Connan espère préciser le flux s'échappant vers l'atmosphère.

1. Le fonctionnement normal des réacteurs nucléaires et le traitement des éléments combustibles émettent du tritium. En 2017, La Hague en rejetait 1 900 TBq sous forme liquide et 72 TBq sous forme gazeuse.

2. Projet Spectra (Spéciation du tritium dans l'atmosphère).

après contrôle, dans le cadre des autorisations. « Dans le compartiment biologique, la plupart des radionucléides sont proches ou inférieurs aux limites de détection, à l'exception de trois qui constituent la majorité des rejets d'Orano La Hague : le carbone 14, le tritium et l'iode 129 », indique Bruno Fievet.

L'apport des sédiments

Une fois en mer, les radionucléides s'accroissent aussi partiellement à des particules. Ils se retrouvent ainsi dans les sédiments. Y persistent-ils ? Combien de temps ?

Mené de 2014 à 2017, le projet Indigo-Sedi⁴ évalue la rémanence de ceux rejetés par le site de La Hague depuis 1966. Il quantifie le césium 137, le cobalt 60, l'américium 241, le curium 255 et les plutoniums 238, 239 et 240 dans les premiers centimètres des sédiments du golfe normand-breton.

En 2016, dix scientifiques récupèrent des sédiments dans une zone de 12 000 km². C'est leur quatrième campagne océanographique après les projets Traces 2014 et 2015 et Prest 2015. Les échantillons sont issus de l'interface eau-sédiments (sur 10 cm). Deux carottes de 50 cm, issues des rares zones vaseuses de cette zone, renseignent sur la répartition des radionucléides plus en profondeur.

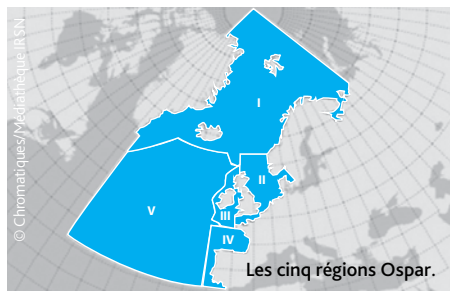
« Les radionucléides se lient aux particules fines, en général inférieures à 63 µm, détaille le radioécologiste Philippe Laguionie. Leur affinité dépend de la granulométrie, de la nature des sédiments et du type de radionucléide. » Une trentaine de configurations mêlant galets, vase, sable et particules fines est répertoriée.

Selon une étude de l'Institut co-financée par Orano, 0,04 % du césium 137 rejeté en mer par l'usine de La Hague est encore dans les sédiments du golfe normand-breton, contre 6 % du cobalt 60 et 3 % en moyenne pour les autres radionucléides. « Ce travail conforte le modèle de dispersion des rejets dont nous disposons, souligne Patrick Devin, ingénieur à la direction sûreté environnement protection chez Orano recyclage. Il complète notre

INTERNATIONAL

Convention Oskar

Baisse des rejets en Atlantique du Nord-Est



Depuis 1995, les rejets radioactifs dans l'Atlantique du Nord-Est des émetteurs bêta ont baissé d'un facteur 12 (à l'exception du tritium) et ceux des émetteurs alpha d'un facteur 2,5. « La diminution la plus significative date des années 1980 et 1990 », précise Bruno Fievet, radioécologiste.

Ces résultats sont mis en avant par la Commission Oskar pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est (« Convention Oskar »). Son objectif stratégique est de prévenir la pollution de la zone maritime Oskar. Depuis 1995, l'IRSN œuvre, aux côtés des pouvoirs publics, dans les travaux de cette commission incluant quinze pays européens. « L'Autorité de sûreté nucléaire [ASN] fournit le détail des quantités d'éléments radioactifs provenant des installations françaises. L'IRSN transmet des résultats de mesure de concentration dans l'environnement marin. Ils sont issus des bio-indicateurs – algues et mollusques – prélevés le long des côtes en Atlantique, Manche et mer du Nord », décrit Bruno Fievet. La source principale des rejets dans cette zone est le retraitement des combustibles nucléaires usés.

EN CLAIR

L'impact des rejets de l'usine de La Hague baisse au fil de l'eau et au fil du temps

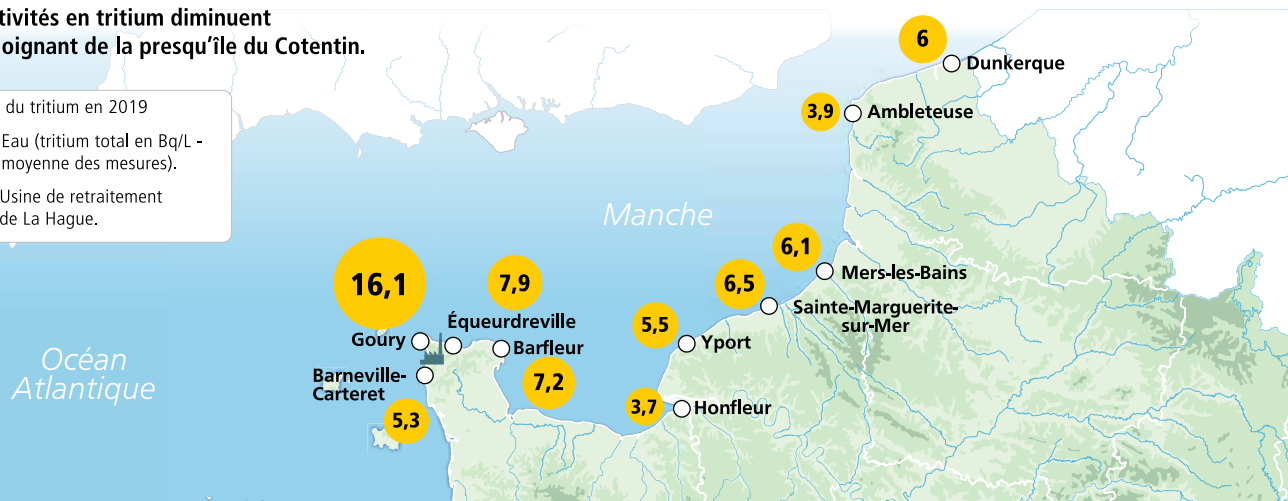
L'Institut mesure l'impact de l'usine de retraitement des combustibles usés. Pour ce faire, il prélève régulièrement des échantillons dans l'environnement. Les données sont disponibles sur www.mesure-radioactivite.fr

Les activités en tritium diminuent en s'éloignant de la presqu'île du Cotentin.

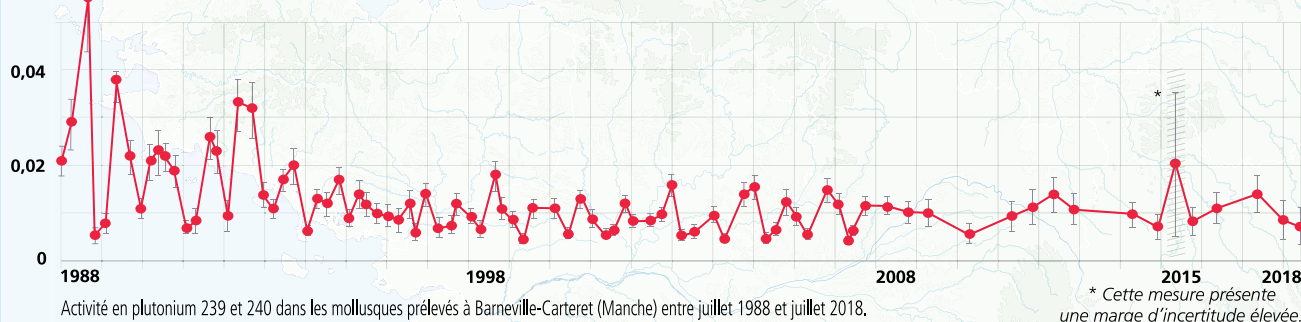
Mesure du tritium en 2019

● Eau (tritium total en Bq/L - moyenne des mesures).

🏭 Usine de retraitement de La Hague.



Les activités en plutonium dans l'environnement diminuent entre 1988 et 2018.



surveillance réglementaire et nous permet d'évaluer la rémanence de nos rejets. »

Les travaux sur les sédiments marins présentent un autre intérêt : véritable stock de radionucléides, ces particules enfouies peuvent être remises en suspension par une houle importante. En 2008, le projet Extrema étudie les répercussions de phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes sur la redistribution des radionucléides. Il montre « l'influence prépondérante des tempêtes de sud-est sur la remise en suspension des sédiments marqués par les apports rhodaniens et sur leur redistribution sur le plateau continental du golfe du Lion », résume Sabine Charmasson.

Un impact sanitaire négligeable

« Les rejets du traitement et recyclage – hors tritium – ont baissé depuis les années 1980. La diminution varie d'un facteur 40 à 500

selon les radionucléides », indique Michel Chartier, expert en radioprotection. Il met en avant « la prise de conscience quant à la nécessité d'améliorer la protection de l'environnement, le durcissement de la réglementation et l'amélioration des technologies de traitement et recyclage ».

L'exposition de la population due aux rejets radioactifs de l'usine de La Hague reste de l'ordre de 10 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ ⁵, 300 fois inférieure à la radioactivité naturelle, concluent les experts de l'IRSN⁶ en 2020. Ils analysent les conséquences des rejets chimiques et radioactifs sur la faune, la flore et les populations riveraines. Ils réalisent une étude critique du dossier de l'exploitant. Ils ne remettent pas en cause l'ordre de grandeur des impacts dosimétrique et sanitaire de l'installation sur la population. Ils invitent Orano à s'interroger sur « les hypothèses considérées dans les calculs d'impact ». ■

1. Amélioration des modèles de prévision de la dispersion et d'évaluation de l'impact des radionucléides au sein de l'environnement.
2. Ensemble des organismes d'un écosystème, allant des producteurs primaires aux échelons les plus élevés de la chaîne alimentaire.
3. Il vise à évaluer les transferts de radionucléides artificiels dans les premiers maillons d'une chaîne trophique marine par une approche intégrée « chimie, biologie, écologie », en collaboration avec l'Institut méditerranéen d'océanographie (université Aix-Marseille) et l'Ifremer.
4. Investigations sur la dispersion et les transferts de radionucléides dans le golfe normand-breton (volet sédiments).
5. À titre de comparaison, la dose délivrée par un scanner abdomino-pelvien est de 10 000 μSv , soit 1 000 fois ce que reçoit en un an la personne la plus exposée à La Hague.
6. Dans le cadre d'un réexamen de sûreté de l'étude d'impact décennale de l'usine de La Hague.



Photoreportage © Cécilia Coumard/Médiathèque IRSN

- 1** Après le carottage dans un polder de la baie du Mont-Saint-Michel à marée basse, les techniciennes Marianne Lamotte (à gauche) et Marianne Rozet (à droite) fixent une toise le long du carottier pour découper la carotte en échantillons d'épaisseur égale.
- 2** Découpe d'une carotte de sédiments en échantillons. Pour chacun, il faut consigner la profondeur et les coordonnées GPS du point de prélèvement.
- 3** Chaque échantillon est conservé dans une boîte.
- 4** Date de prélèvement, nom de la campagne... plusieurs données sont inscrites sur les boîtes de strates sédimentaires. Elles sont envoyées au Laboratoire de radioécologie de Cherbourg-Octeville (LRC, Manche).

REPORTAGE Les radionucléides rejetés par l'usine de retraitement de La Hague atteignent la baie du Mont-Saint-Michel (Manche) en quinze à vingt ans. Des investigations de terrain éclairent ce processus.

Radionucléides fixés aux sédiments

La migration est quantifiée



Profitant d'un coefficient de marée élevé, quatre chercheurs du Laboratoire de radioécologie de Cherbourg-Octeville (LRC, Manche) quittent leur paillasse. Pour comprendre le devenir des radionucléides provenant de l'usine de retraitement de La Hague, direction les prés salés¹ de la baie du Mont-Saint-Michel. Leur mission : rapporter des carottes² de sédiments, puis mesurer leur contenu en éléments radioactifs : césium 137, cobalt 60, plutoniums 238-239-240, plomb 210 et potassium 40. En combien de temps se retrouvent-ils enfouis dans les sédiments de la baie, située à 150 kilomètres environ au sud de La Hague ? Intégrée dans le projet Tase (Transport des radionucléides associés aux sédiments de l'environnement), cette expédition doit apporter quelques réponses.

Après les grandes marées, pas facile d'enfoncer le carottier dans les dépôts tassés. « Nous voulons rapporter un mètre de sédiments. Nous remontons ainsi le temps jusqu'aux débuts de la mise en service de l'usine de retraitement, en 1966. Nous reconstituons l'historique des rejets de radionucléides en mer »,

explique le radioécologiste Denis Maro. Le précieux prélèvement est débité et les 27 strates sédimentaires rapportées au laboratoire pour analyse.

« Nous estimons de quinze à vingt ans le temps de transit du cobalt 60 lié aux sédiments entre le Nord-Ouest du Cotentin et le mont Saint-Michel. Nous trouvons un pic en 2002. Il correspond aux rejets les plus importants de l'usine, datant de 1984. Cette étude indique une baisse globale des rejets radioactifs au cours du temps [lire p. 13] », précise le chercheur.

Ces travaux serviront à améliorer les modèles de recherche évaluant le transport sédimentaire³ et le modèle d'expertise de l'IRSN, Sterne⁴. « Nous étudions la possibilité de remise en suspension des radionucléides associés aux sédiments en cas de tempêtes », ajoute Denis Maro. ■

1. Territoire recouvert par la mer uniquement lors des grandes marées.
2. Échantillon cylindrique extrait du sol par un appareil de forage.
3. Modèle Croco – dispersion des radionucléides dissous – lié au modèle Mustang d'association de radionucléides aux sédiments.
4. Simulation du transport et du transfert d'éléments radioactifs dans l'environnement marin.

■ BIBLIOGRAPHIE

Avis IRSN 2020-00144. Étude d'impact sanitaire et environnemental de l'établissement de La Hague www.irsn.fr/Avis-2020-144

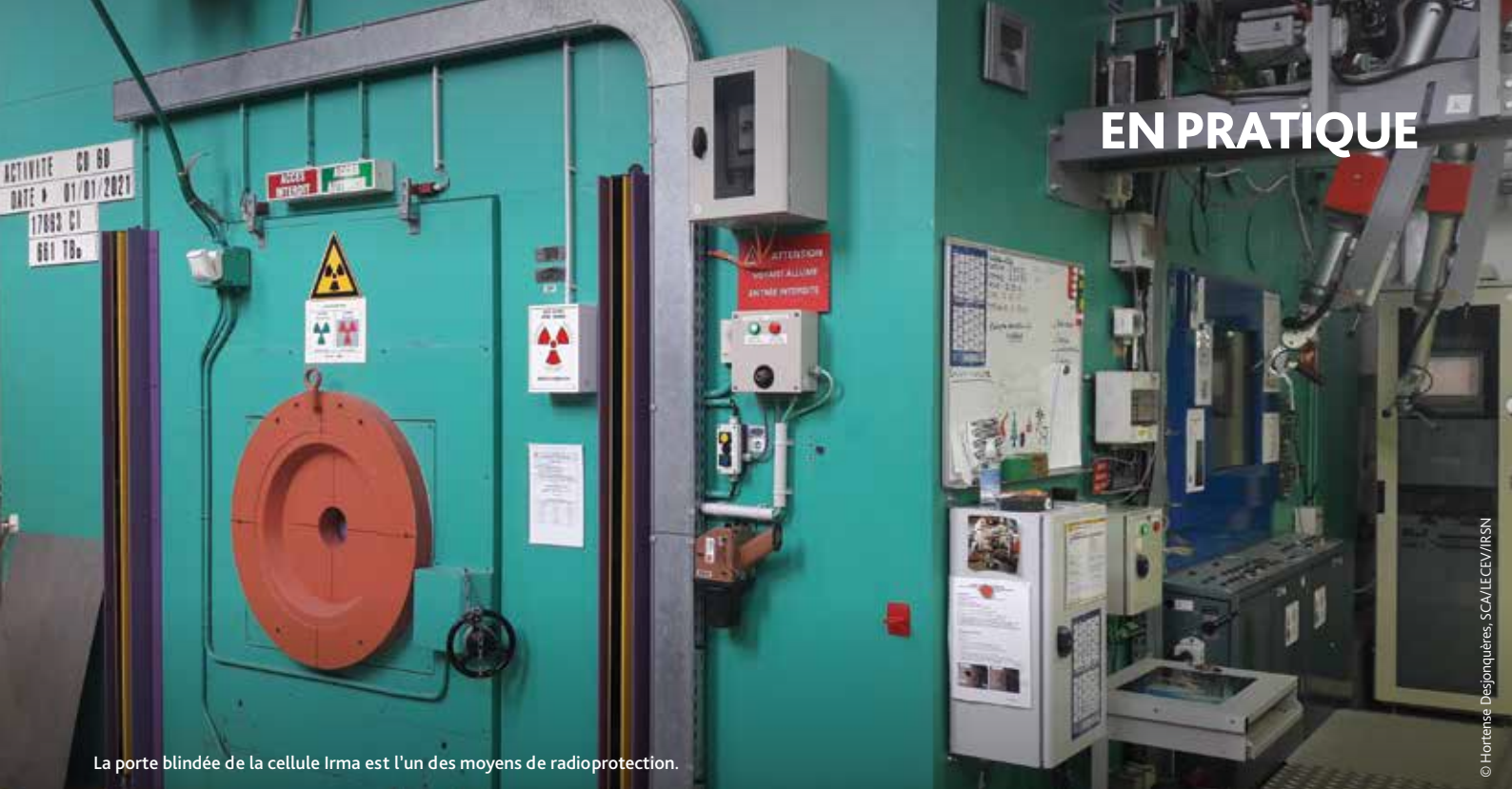
Les côtes françaises sous l'œil de l'IRSN www.irsn.fr/cotes-fr

Thèse de Mokrane Belharet www.irsn.fr/These-Belharet

Repères n° 13, mai 2012 Radioécologie marine : surveiller et prédire www.irsn.fr/R13

Convention Oskar www.ospar.org/convention

Accident de Fukushima Daiichi : simulation de la dispersion en mer des rejets radioactifs liquides www.irsn.fr/Fuku-Mer-2011



La porte blindée de la cellule Irma est l'un des moyens de radioprotection.

Effets des irradiations

Évaluer la résistance des matériaux

L'ESSENTIEL Détecteurs de rayonnements ionisants, fibres optiques, joints polymères...

Certains équipements doivent fonctionner sous irradiation. Pour tester leur résistance aux rayonnements et étudier les mécanismes de vieillissement, ils sont mis à l'épreuve au sein de la cellule d'irradiation Irma de l'IRSN. **TÉMOIGNAGE** Un chercheur en ingénierie électronique à l'Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace. **DÉCRYPTAGE** Comment tester la résistance à l'irradiation ? **AVIS D'EXPERT** Une ingénieure de recherche matériaux.



Vincent Goiffon

Professeur d'électronique, chercheur en microélectronique pour l'imagerie à l'Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace (Isae-Supaero).

TÉMOIGNAGE "Du nucléaire au spatial"

“**N**otre groupe de recherche développe des capteurs d'images et des caméras pour des applications spatiales. Sans la protection de l'atmosphère et de la magnétosphère terrestre, leurs circuits électroniques sont constamment exposés à des particules énergétiques qui ionisent les isolants et cassent les semi-conducteurs. Nous étudions l'effet des radiations spatiales sur ces composants. Notre objectif : assurer le bon fonctionnement des instruments d'observation dans l'espace. Le projet collaboratif Camrad (programme d'investissement d'avenir Andra) met à profit cette expertise (*lire p. 19*). Il développe une caméra résistante aux radiations, utilisable pour identifier ou contrôler des déchets sur des sites de production (zone de démantèlement) ou de stockage (gestion des déchets). Les niveaux de dose considérés sont plus de mille fois supérieurs à ceux rencontrés généralement dans les missions spatiales.

Les innovations du projet Camrad repousseront ces limites de résistance aux rayonnements. Elles

bénéficieront aux prochaines missions scientifiques spatiales, comme l'exploration des lunes de Jupiter.

Chercher la panne

La radioactivité met les composants de la caméra à rude épreuve. Elle noircit les optiques et affecte le fonctionnement des circuits électroniques.

Nous exposons aux rayons gamma des capteurs que nous connaissons avec précision et analysons le type de panne qui survient. Les pixels deviennent-ils blancs ? Perd-on une partie de l'image ? Nous identifions l'origine du problème et cherchons comment rendre le composant plus résistant. L'action corrective peut consister à modifier la forme d'un transistor ou à changer l'architecture d'un circuit.

Les résultats obtenus avec la cellule Irma nous ont permis de pousser la technologie choisie là où elle n'avait jamais été amenée. Les capteurs développés résistent sans blindage ni traitement d'image aux radiations au-delà de 1 MGy, soit dix fois plus que ceux du marché destinés à de tels environnements. ■

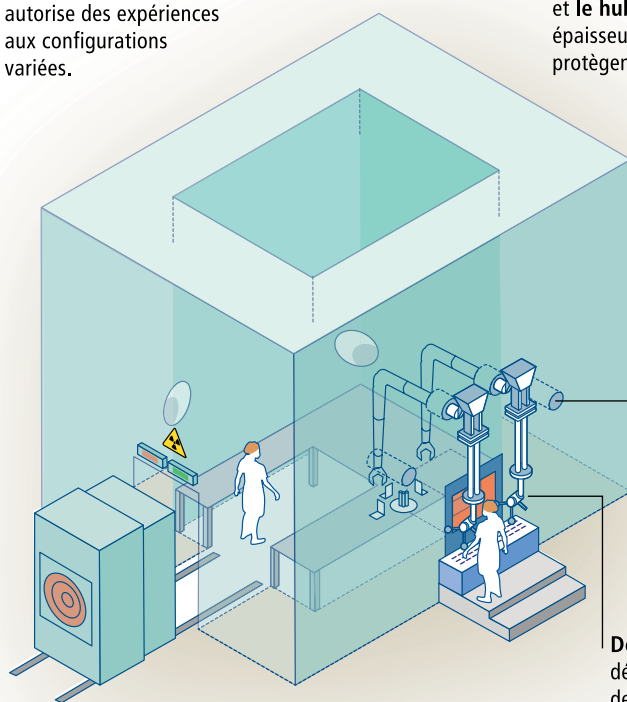
Comment se déroule un test d'irradiation ?

Pour tester la résistance aux rayons d'irradiation sont menées au sein Illustration avec le projet Camrad, résistant aux radiations ionisantes

La cellule d'irradiation Irma recrée des conditions d'exposition représentatives d'environnements radiatifs : installations nucléaires, lieux de stockage de déchets radioactifs, rayonnement cosmique... Objectif : **étudier l'effet de la dose et du débit de dose sur divers matériaux ou matériels**. Hortense Desjonquères, ingénieure, et Stéphane Poirier, technicien, testent les sous-composants de la future caméra Camrad : lentilles, cartes électroniques, LED, etc.

Le volume interne de 24 m³ autorise des expériences aux configurations variées.

Des murs en béton (> 1 m) et le hublot avec quatre épaisseurs de verre plombé protègent le manipulateur.



Deux traversées servent au passage des câbles, tuyaux... et des capteurs (température, pression, etc.).

Deux télémanipulateurs déplacent des sources depuis l'extérieur.

Une porte blindée motorisée donne accès à la cellule quand les sources sont en position de stockage.

© Art Presse/ABC Communication/Médiathèque IRSN/Magazine Repères

Les 5 étapes d'un test

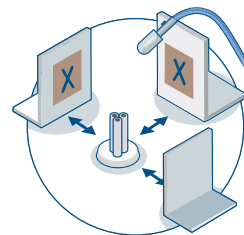
1 Sélection des sources, simulation des positions des composants

Selon la dose et le débit de dose souhaités, Stéphane P. détermine le **nombre de crayons de cobalt** à utiliser et les **emplacements des composants** à irradier. Il utilise un **logiciel de simulation**.



2 Validation des positions

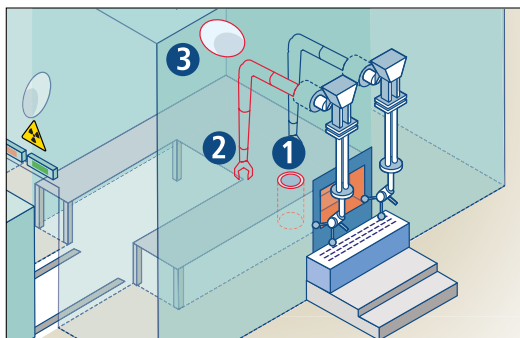
Des **maquettes**, simulant les composants à irradier, sont positionnées aux emplacements spécifiés. Les **débits de dose sont mesurés** en chaque point de référence pour vérifier la conformité avec la simulation. Si nécessaire, les positions des échantillons sont ajustées.



3 Tests des composants de la caméra

Par **télémanipulation**, l'opérateur sort quatre sources du château de stockage. L'irradiation démarre pour atteindre 1 MGy en 2-3 semaines. L'exposition aux rayonnements gamma des équipements **se quantifie en dose intégrée**. L'évolution des performances des équipements est suivie en temps réel, par exemple en mesurant l'intensité du courant qui passe dans un composant électronique.

DANS LA CELLULE IRMA



- 1 Hors utilisation, les sources sont confinées dans un **château en plomb**, dont les murs protègent des radiations. L'équipe d'exploitation peut alors entrer dans la cellule pour installer le matériel à tester.
- 2 Des **bras esclaves** avec assistance électrique reproduisent les mouvements des bras maîtres manipulés depuis l'extérieur de la cellule.
- 3 Un **miroir** aide à voir les angles morts de la cellule.

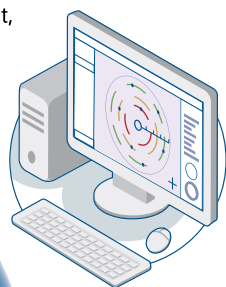
QUELLE RADIOPROTECTION ?

Des **mesures de débit de dose** ambiant sont effectuées mensuellement dans le hall de l'installation. Les trois **balises de radioprotection**, qui surveillent le débit de dose ambiant, sont contrôlées tous les ans. L'intégrité des sources est vérifiée trimestriellement par **des frottis**. L'installation est instrumentée avec des chambres à ionisation qui **bloquent les accès** à la cellule en phase d'irradiation.

nements de composants et matériaux, des campagnes de la cellule Irma (pour « Irradiation de matériaux »), qui vise à développer une caméra haute performance au-delà de 1 MGy...

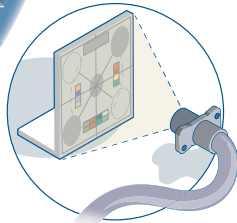
4 Un rapport de test

Il récapitule les phases de préparation et de test, le temps d'irradiation et la dose intégrée.



5 Test d'irradiation d'un prototype

Pour analyser ses performances sous irradiation, la caméra Camrad filmera une mire pendant toute la durée du test.



Bénéfices attendus

- ↑
 - Résistance aux rayonnements > 1 MGy.
 - Sécurité des inspections des déchets.
- Applications scientifiques.
 - Connaissances sur les mécanismes de vieillissement des composants.
- ↓
 - Remplacement de matériels et risques de manipulation associés.

IRMA AU SERVICE D'UNE THÈSE

Une thèse sur la corrosion en absence d'oxygène des aciers sous rayonnement gamma recourt à Irma pour soumettre à irradiation des coupons de fer placés dans un milieu contenant de l'eau. Le dispositif étanche est connecté à un chromatographe en phase gazeuse, qui mesure en temps réel la quantité d'hydrogène produite. Ces explorations sont en lien avec le **stockage profond des déchets nucléaires**.

CONTACT

Laboratoire d'expérimentations sur le comportement des équipements et de la ventilation (LECEV) - BP68 91191 Gif-sur-Yvette Cedex
Tél. : +33 (0)1 69 08 23 53

POUR ALLER PLUS LOIN

Camrad est un programme d'investissement d'avenir (PIA), géré par l'Andra. Plusieurs partenaires engagés : centres de recherche, IRSN, industriels...
www.irsn.fr/IRMA-pdf

AVIS D'EXPERT



Hortense Desjonquères
Ingénieure de recherche matériaux

Contraintes multiples et extrêmes

“ Température, pression, humidité... Un intérêt majeur de la cellule Irma est de coupler simultanément l'irradiation avec d'autres contraintes. Nous testons tous types d'équipements : détecteurs de rayonnements ionisants, systèmes électroniques, fibres optiques, etc. Des matériaux aussi sont éprouvés : polymères, verres, zéolithes... Irma contribue à un programme de recherche dans le cadre de la quatrième visite décennale des réacteurs de 1 300 MWe. Il étudie la tenue des revêtements d'étanchéité d'enceintes réacteurs en cas d'accident grave. Un échantillon en béton revêtu d'un matériau composite est exposé aux conditions d'un tel accident : 153 °C, 5,6 bars, de la vapeur d'eau et jusqu'à 200 kGy en dose intégrée. Des capteurs contrôlent les conditions dans la cellule. Un logiciel de supervision permet de contrôler le procédé. À l'issue de l'expérience, les caractéristiques des matériaux sont réévaluées* : résistance mécanique, adhérence, étanchéité... Nos recherches sur le vieillissement impliquent souvent un suivi en ligne. Pour surveiller en continu l'évolution des performances ou des propriétés des équipements, ils sont connectés à des instruments de mesure extérieurs à la cellule. Un réflectomètre optique, par exemple, renseigne sur le maintien des capacités de l'appareil testé à propager un signal lumineux.

* Service études et recherche expérimentale (Serex).

CONTACT

Hortense Desjonquères
hortense.desjonqueres@irsn.fr

Les sciences sont à la fête

Notre alimentation contient-elle de la radioactivité ? Y a-t-il du tritium dans l'eau de pluie ? À la Fête de la science, de jeunes curieux trouvent des réponses à leurs questions. Des chercheurs partagent leur passion. Les ateliers foisonnent. Déployée aux quatre coins de l'Hexagone, elle permet à des citoyens de s'informer, entre autres, sur la radioactivité et d'affiner leur sens critique.

1 Comment le public s'informe-t-il sur la radioactivité ?

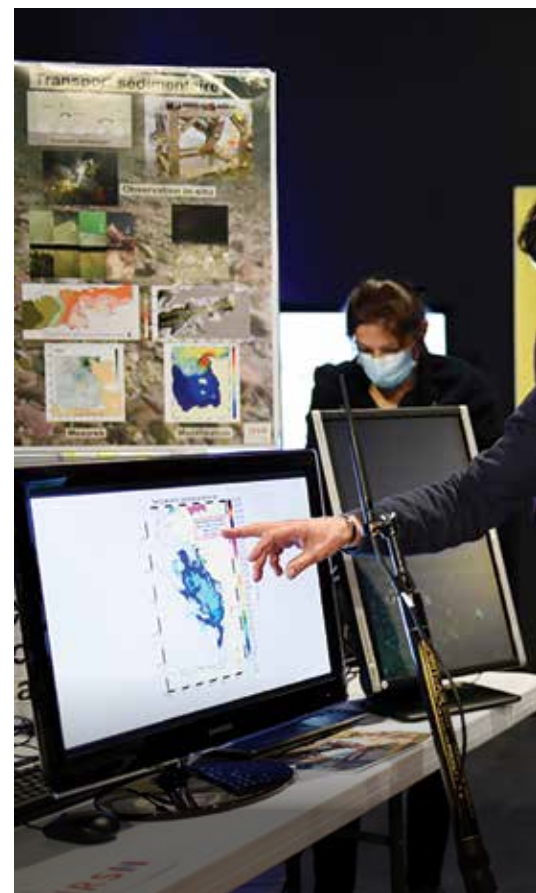
Un vieux réveil aux aiguilles enduites de radium joue les vedettes au Village des sciences de Cherbourg-en-Cotentin (Manche) les 3 et 4 octobre 2020. À l'aide du capteur OpenRadiation* qu'ils ont monté, les jeunes du lycée Thomas-Hélye rendent visible la radioactivité et l'expliquent au public. À leurs côtés, les chercheurs du Laboratoire de radioécologie de Cherbourg (LRC) complètent la démonstration. Ils identifient les radionucléides présents dans la salle avec un spectromètre gamma. Le public pose beaucoup de questions : est-ce dangereux ? Pourquoi ? etc. Une retraitée témoigne : « Je me suis arrêtée par curiosité. J'ai appris beaucoup de choses. Je ne savais pas que l'IRSN travaillait sur tout le territoire. »

À Saint-Brieuc (Côtes-d'Armor), Maxime Morin, spécialiste de la surveillance radiologique de l'environnement, démystifie la radioactivité dans l'émission « Science en direct », diffusée en *live* le 10 octobre 2020 sur la chaîne YouTube « L'Esprit sorcier ». L'idée est de montrer aux gens qu'il existe de la radioactivité naturelle. Les questions portent sur l'accident de Tchernobyl, les retombées des essais nucléaires, l'impact environnemental des installations... Plusieurs centaines d'internautes suivent l'émission et posent des questions.

* OpenRadiation est un projet participatif visant à constituer une base de données citoyenne de mesures de la radioactivité ambiante. Il propose des capteurs en « kit ».



À Poissy (Yvelines), des scientifiques présentent au public l'analyse d'échantillons de l'environnement.



Présentation du capteur OpenRadiation dans une salle du Muséum d'histoire naturelle de Nantes.

© Renaud Martin/IRSN

2 L'occasion d'encourager la science participative ?

Le 3 octobre 2020, un chercheur spécialisé en physique nucléaire et un informaticien participent sur YouTube à l'émission « Science en direct ». En duplex, ils présentent le projet Cosmic on Air. L'objectif est d'encourager la participation citoyenne aux recherches scientifiques, en mesurant le rayonnement cosmique en avion. Les scientifiques montrent un modèle de capteur et expliquent aux internautes habiles en soudure comment se procurer les composants et le monter eux-mêmes. Une projection à l'écran de l'application est présentée.

Les chercheurs souhaitent ainsi recueillir un maximum de mesures. Un appel à participation est lancé par l'animatrice. Près de 400 personnes sont connectées en direct. Au Muséum d'histoire naturelle de Nantes (Loire-Atlantique), OpenRadiation est à l'honneur. Des capteurs sont mis à la disposition des lycéens, étudiants, familles, pour qu'ils testent le dispositif.

3 Les vocations sont-elles encouragées ?

L'impact de ce type d'événement sur de jeunes publics est difficile à mesurer avec précision, mais il est palpable. À la suite de la Fête de la science, des élèves font des demandes de stage au Laboratoire de radioécologie de Cherbourg-Octeville (Manche), spécialisé dans l'étude du transfert des radionucléides dans l'environnement.

Lors de la Fête de la science de Poissy (Yvelines) l'an passé, deux étudiants de prépa s'arrêtent au stand de Maxime Morin. « Ils sont ensuite venus visiter notre laboratoire, qui travaille sur la surveillance radiologique de l'environnement. Ils préparaient un dossier qu'ils devaient présenter au concours et avaient besoin d'informations sur la radioactivité. »



Les élèves du lycée Thomas-Hélye de Cherbourg (Manche) remettent officiellement le capteur OpenRadiation à l'association Voilenat.org.



Denis Maro, chef du Laboratoire de radioécologie de Cherbourg-Octeville, montre une carte de mesure de la radioactivité à une famille en visite sur le stand.

4 Un moyen unique d'atteindre les jeunes ?

Pour que les jeunes s'intéressent aux sciences, il faut éveiller très tôt leur curiosité. Pari gagné au Village des sciences de Cherbourg-en-Cotentin (Manche) : des lycéens remettent un capteur OpenRadiation à l'association Voilenat.org, organisatrice de l'expédition océanographique Escondida, à laquelle s'associe l'IRSN. Le capteur va effectuer des mesures dans les environnements marins et insulaires tout autour du monde. Envoyées sur une plateforme dédiée, ces mesures seront analysées et interprétées par les lycéens. « Ils déposeront leur analyse sur un site IRSN ouvert, collaboratif, que tout un chacun pourra consulter », détaille le radioécologiste Denis Maro. Un étudiant visitant le stand salue l'initiative : « Ce type de projet est à la portée de tous. Il permet d'avoir une pratique réelle avec des moyens simples. »

5 Les jeunes exercent-ils leur sens critique ?

Les élèves du collège Hubert-Fillay (Loir-et-Cher) participent à l'émission « Science en direct » du 10 octobre. Pour se préparer, ils étudient pendant plusieurs semaines le thème de la radioactivité. « Ce travail est une éducation à la science, à la citoyenneté, au fait qu'en tant que jeune citoyen, on peut se renseigner », observe leur professeur de physique-chimie Joël Petit. Ils sont conseillés par Maxime Morin, ambassadeur IRSN de la Fête de la science 2020. Le jour J, ils répondent en direct à des questions de l'animatrice :

« Notre alimentation est radioactive, vrai ou faux ? » « Vrai » répondent les élèves, et des internautes connectés en direct. Pour les radioécologistes investis dans la Fête de la science, la collaboration entre jeunes et scientifiques est précieuse. À partir d'une question – « pourquoi y a-t-il du tritium dans l'eau de pluie ? » –, les lycéens apprennent à faire une bibliographie, réalisent des expérimentations, des mesures... Ils acquièrent des connaissances et une démarche scientifique.



À Vinon-sur-Verdon (Var), le doctorant Mohamad Farhat (laboratoire L2EC) explique la mécanique des fluides à des élèves du collège Yves-Montand.

Ingénieure sûreté

Un avis indépendant

Vérification des procédés, analyses contradictoires de données, conseil et assistance auprès de la filière opérationnelle... Telles sont les missions de l'ingénieure sûreté. Plongée au cœur de la filière indépendante de sûreté de la centrale du Blayais (Gironde).

Ce matin, Corinne Barralon roule avec attention sur la petite route qui mène à la centrale du Blayais (Gironde). La pluie abondante de la veille a laissé des traces. L'ingénieure sûreté (IS) rejoint son bureau dès 7 heures. Entre les contrôles liés à cette météo perturbée et la remise en production d'un réacteur, sa journée s'annonce chargée.

Membre de la filière indépendante de sûreté (FIS) du site, elle veille à la sûreté des installations, attentive à tout non-respect ou toute dérive à l'égard de leur référentiel de sûreté. L'équipe opérationnelle – où elle a débuté sa carrière, après des études d'ingénieur – assure le bon fonctionnement de la centrale. « Notre rôle est de la guider et de questionner ses décisions, pour garantir le respect des règles de sûreté », explique-t-elle.

Pour l'heure, place à la préparation du plan de travail journalier et aux premières vérifications : les transmissions du chef d'exploitation (CE) et des opérateurs du quart précédent, des demandes de travaux...

À 9 heures, d'un pas vif Corinne Barralon quitte son bureau et elle entame ses deux heures d'inspection quotidienne. Elle vérifie la conformité de tous les points de contrôle de la tranche¹ par rapport aux spécifications techniques d'exploitation (STE), véritable « code de la route » de la centrale. Certains sont incontournables, tel le confinement de la radioactivité. D'autres suivent l'actualité – mise en route ou arrêt d'un réacteur –, la météo, etc.

Un calcul est à reprendre

Dans la salle de commande – un arrêt obligatoire –, l'ingénieure sûreté vérifie la puissance neutronique du réacteur, la température du cœur...

« Notre activité suit une dynamique du temps réel. À tout instant, il y a une analyse à faire, sur laquelle il faut argumenter avec l'équipe opérationnelle de manière sûre et sereine. C'est très stimulant », observe

l'ingénieure. De bonnes capacités relationnelles sont requises.

À 11 heures, elle rejoint le CE pour faire le bilan de l'état de sûreté des réacteurs et déterminer les mesures éventuelles à prendre, à la suite des évaluations menées indépendamment par le CE et l'IS. « En cas de désaccord, il nous arrive de solliciter la direction », détaille Corinne Barralon.

La réunion journalière de la FIS illustre bien le rôle de l'entité : s'assurer que les installations sont exploitées au quotidien en toute sûreté. Lors du passage en revue des quatre réacteurs, les IS examinent la concentration en bore² critique du circuit primaire du réacteur 3, importante pour sa remise en service. Leurs calculs et ceux de l'équipe opérationnelle ne concordent pas. « Nous avons l'après-midi pour les reprendre, comprendre l'écart et discuter avec les collègues », explique-t-elle.

Cette mission sera accomplie quelques heures plus tard. Corinne Barralon se souvient encore de son premier arrêt de réacteur. « On a connaissance de l'enjeu de production, mais les STE sont à respecter. Une analyse argumentée permet de décider selon le référentiel sûreté. » ■

1. Les centrales françaises comportent plusieurs réacteurs, ou « tranches », de 2 à 6 selon le site. Chaque tranche est constituée d'une partie nucléaire (un réacteur, une piscine d'entreposage d'assemblages combustibles), d'une partie électrique (turbine couplée à un alternateur) et de bâtiments annexes (salle de commandes, etc.).



2. Le bore présent dans l'eau du circuit primaire, modère la réaction en chaîne en absorbant les neutrons.

3. Il s'agit d'un système de blocage (cadenas, câbles) associé à une procédure. Elle vise à garantir que les vannes et robinets essentiels à la sûreté de l'installation sont maintenus dans la position requise.

WEBMAGAZINE



DIAPORAMA
Les vérifications
quotidiennes
dans une centrale
www.irsn.fr/R49



Un collectif au service de la sûreté

Tous les jours à 13 heures, Corinne Barralon fait un bilan avec les autres ingénieurs sûreté. Le redémarrage du réacteur 3 est à l'ordre du jour. Ils passent en revue les quatre réacteurs de 900 MWe chacun. Ils transmettent le métier aux jeunes collègues, sortis récemment de formation ou venus d'autres services, comme ce fut le cas pour Corinne. Aujourd'hui, un collègue d'astreinte la veille intervient par téléphone.



Une évaluation quotidienne

Chaque jour, Corinne Barralon consacre deux heures au contrôle de la conformité de l'installation. Elle vérifie systématiquement certains éléments clés, comme le bon fonctionnement des chaînes de mesures d'activité, situées dans le bâtiment réacteur ou installées sur les lignes vapeur, en sortie des générateurs de vapeur.



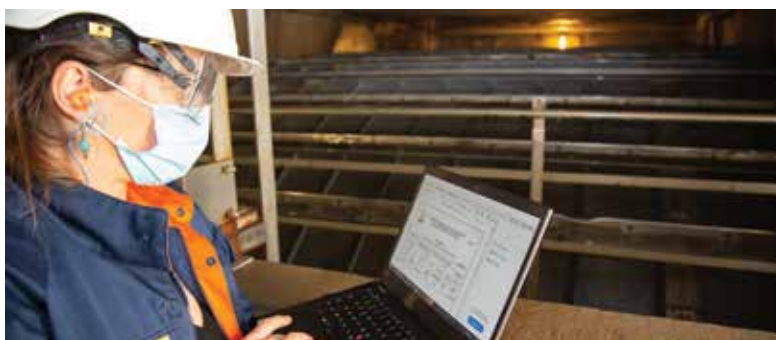
Dans le local des vannes ASG – alimentation de secours des générateurs de vapeur –, l'ingénierie sûreté vérifie la bonne fermeture des vannes manuelles, garantie par la « condamnation administrative » (étiquetage vert) ³.



Une anticipation constante

L'exploitant planifie les activités du site plusieurs semaines à l'avance. La filière indépendante de sûreté vérifie la compatibilité de cette planification avec les spécifications techniques d'exploitation (STE). L'ingénierie s'assure qu'il n'y a pas en parallèle deux activités incompatibles d'un point de vue sûreté. Exemple : prélèvement d'une chaîne de mesure d'activité à la cheminée de rejet, la rendant indisponible, en parallèle d'un rejet gazeux, alors que les STE requièrent qu'aucun rejet ne soit réalisé pendant cette indisponibilité. Cette anticipation vise à programmer les activités en toute sûreté, sans gêner la productivité.

Reportage photo : © Florence Levillain/Signatures/Médiathèque IRSN



Des vérifications ponctuelles

Les tambours filtrants de la centrale filtrent l'eau de la Gironde en amont des pompes du circuit de refroidissement. Pendant l'hiver 2009, une arrivée massive de débris végétaux les colmate. Plusieurs réacteurs sont mis à l'arrêt. Depuis, le site a renforcé sa stratégie de prévention des risques liés aux débris végétaux. L'encrassement des tambours, entre autres, est particulièrement suivi sur les périodes à risque. Malgré les pluies violentes de la veille, Corinne Barralon constate que le système est opérationnel.

Diffuser la culture de sûreté

L'ingénierie sûreté explique les référentiels, transmet les bonnes pratiques, etc. Au moins deux fois par an, elle sensibilise le service opérationnel avec lequel elle est « appairée ». Pour Corinne Barralon, il s'agit du service automatismes. Il regroupe 120 personnes, en charge de milliers de capteurs sur le site : des chaînes de mesure neutronique, des commandes du réacteur...



Votre dosimétrie en quelques clics

Vous êtes conseiller en radioprotection et en charge des dosimètres de votre établissement ?

Le portail *monDosimetre* vous facilite leur gestion. En quelques clics, commandez vos dosimètres, mettez à jour les fiches des porteurs, éditez vos tableaux de bord logistiques, personnalisez vos bilans dosimétriques... et découvrez régulièrement de nouvelles fonctionnalités. *IRSN dosimétrie* vous accompagne, quel que soit votre domaine d'activité – médical, industriel, nucléaire, recherche – ou la taille de votre structure. Votre abonnement est accessible où que vous soyez, 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.



Contactez-nous

IRSN DOSIMÉTRIE
dosimetre@irsn.fr
www.dosimetrie.irsn.fr
<https://mondosimetre.irsn.fr>

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE