

REPERES

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Partir pour le meilleur

FAITS ET PERSPECTIVES

Anomalies sur les
générateurs de vapeur

REPORTAGE

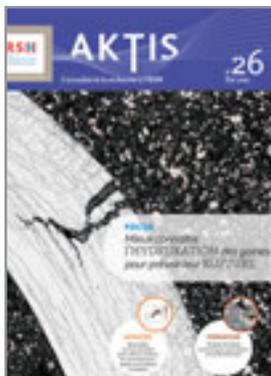
Vétérinaires et radioprotection



CAHIER INFOGRAPHIES

Face aux risques :
Les précautions à prendre

Le numéro 26 d'Aktis est paru



Au sommaire du dernier numéro d'Aktis : évaluer les doses secondaires en protonthérapie ; comment quantifier les incertitudes pour mieux évaluer les conséquences après un accident nucléaire ; un nouveau modèle de pyrolyse de matériaux semi-transparents. Édité par l'IRSN, Aktis est une lettre d'information dédiée à la recherche au sein de l'Institut. www.irsn.fr/aktis

Vidéo : comment mesure-t-on le tritium ?



Naturellement présent dans l'environnement, le tritium est l'un des principaux radionucléides rejetés par les activités nucléaires. En quelles quantités le trouve-t-on ? Comment se comporte-t-il ? Les spécialistes de l'IRSN tentent de répondre à ces questions en mesurant sa présence dans l'environnement. Découvrez leur travail en vidéo. www.irsn.fr/video-tritium

Le bilan de l'exposition professionnelle aux rayonnements



Plus de 393 000 travailleurs sont exposés aux rayonnements pour des raisons professionnelles. 72 %, surveillés par dosimétrie externe, n'ont reçu aucune dose. Avec 2,05 mSv, www.irsn.fr

les personnels navigants de l'aviation ont les doses individuelles moyennes les plus élevées. Voilà des données que vous pourrez approfondir dans le Bilan 2016 de l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France édité par l'Institut. www.irsn.fr/travailleurs-2016

Baromètre 2017



Le Baromètre IRSN de la perception des risques et de la sécurité par les Français enrichit son contenu. Des scientifiques externes analysent et mettent les résultats en perspective. L'édition 2017 montre que les Français sont toujours marqués par le terrorisme. S'agissant du secteur nucléaire, il ne ressort pas d'évolutions significatives, mais la perception des acteurs du domaine s'est dégradée. Barometre.irsn.fr

Agenda

Du 6 novembre au 22 décembre
Lycée Gustave-Eiffel de Massy
(Essonne)

Une exposition sur le nucléaire

Cette exposition pédagogique et itinérante est destinée à sensibiliser, de façon ludique, les enfants et les citoyens sur les risques liés à la radioactivité et au nucléaire. Elle est proposée par l'IRSN et l'ASN, en partenariat avec l'IFFO-RME¹.

1. Institut français des formateurs risques majeurs et protection de l'environnement.

Plus d'information : www.irsn.fr/expo

6 et 7 novembre 2017
Paris

Le congrès Eurosafe

La conférence internationale consacrée à la sûreté nucléaire, aux déchets radioactifs et à la radioprotection aura lieu à la Cité universitaire internationale de Paris. Elle réunira experts, chercheurs, ONG et industriels acteurs du nucléaire. .

Plus d'information : www.eurosafe-forum.org

21 et 23 novembre 2017
Parc des expositions (Paris)

Salon des maires

L'IRSN tiendra un stand commun¹ avec l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Elus et grand public y trouveront des informations sur la sûreté et la radioprotection en France à travers le contrôle et l'expertise.

1. Stand F42, pavillon institutionnel 2.1

Plus d'information www.salondesmaires.com

On line www.irsn.fr/R35 WEBMAG



Reportage : Vétérinaires, une culture de la radioprotection

La préparation de la scintigraphie



L'étudiant vétérinaire en formation



Intérêt public

Radon : des élèves restituent leurs travaux

Abonnement

POUR VOUS ABONNER : www.irsn.fr

Rubrique l'IRSN > Publications > Magazine Repères

Sommaire

En couverture : Valentin Hérout, interne vétérinaire, réalise une radiographie du pied d'un cheval

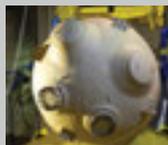
P.4 TEMPS FORTS

Réorganisation de l'IRSN
S'adapter à des attentes plus exigeantes

Recherche
Lésions radio-induites : un gène mis en cause

FAITS ET PERSPECTIVES

P.6 Anomalies sur les générateurs de vapeur
Traitement immédiat, suivi à long terme



CAHIER INFOGRAPHIES P.9

Dossier du prochain N° :
Radiothérapie :
lutter contre les
effets indésirables

Face aux risques :
Quelles précautions
prendre ?

P.17 EN PRATIQUE

Balises radiologiques
Détecter une contamination atmosphérique

P.20 INTÉRÊT PUBLIC

Quand des collégiens traquent le radon



P.22 REPORTAGE

Vétérinaire équin
Une culture de la radioprotection

Au plus près des professionnels

La radioprotection chez les vétérinaires équins est à la une de ce numéro. Pour vous faire découvrir ce thème, *Repères* est parti en reportage dans le centre d'imagerie d'une école vétérinaire, en Normandie. Tout au long de leur cursus, les étudiants y acquièrent les bonnes pratiques. Dans les précédents numéros, nous avons emmené nos lecteurs dans des univers différents et inattendus. Au musée du Louvre auprès de deux personnes compétentes en radioprotection, à proximité d'une centrale nucléaire avec des pompiers en exercice de crise, sur le toit d'un collège où un opérateur dépose un paratonnerre. Ces reportages sont complétés sur le webmagazine de diaporamas photos et de vidéos. Ce genre journalistique est une volonté. Il vous permet d'être au plus près des professionnels qui, sur le terrain, œuvrent au quotidien pour faire avancer la radioprotection et la sûreté. Cette rubrique est dédiée à ces acteurs engagés dans leur mission et dans la prévention des risques.

Catherine Roulleau
Rédactrice en chef

À lire sur le webmagazine
Repères n° 31, p. 22,
Repères n° 32, p. 22,
Repères n° 34, p. 22.

REPÈRES – Éditeur : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire – 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 rédaction : Marie-Pierre Bigot – Rédactrice en chef : Catherine Roulleau – Assistante de rédaction : Isabelle Cussinet – Ont collaboré à ce numéro : Stéphanie Clavelle, Aleth Delattre, Pascale Monti – Comité de lecture : François Bréchnignac, Georges Henri Mouton – Rédaction et réalisation : CITIZEN PRESSE – Iconographie : Sophie Léonard – Photos de couverture : © Florence Levillain/Signatures/Médiathèque/IRSN – Impression : Galaxy (72) – Imprimé sur Cyclus print – ISSN : 2103-3811 et 2491-8776 (web) – octobre 2017.

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Recherche

Feu vert pour l'Instance d'évaluation de l'IRSN

L'Instance d'évaluation externe des unités de recherche de l'IRSN a été validée en mars 2017 par le Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (HCERES) pour la période 2017-2021. Pour cela, l'IRSN a dû apporter des modifications aux procédures d'évaluation déjà en vigueur à l'Institut afin de répondre aux trois critères principaux du Haut Conseil : l'indépendance, la transparence et la qualité. Cette instance, composée d'experts indépendants, a pour but d'évaluer en cinq ans – période séparant deux évaluations successives de l'Établissement par le HCERES – les 15 thématiques de recherche de l'Institut (épidémiologie des rayonnements ionisants, sûreté des stockages de déchets, criticité, etc.).

“Notre démarche sera plus personnalisée. Les chercheurs obtiendront des réponses aux questions qu'ils se posent en matière de gouvernance, de priorités de recherche, de stratégie et de gestion des partenariats”, souligne Giovanni Bruna, directeur scientifique de l'IRSN.

www Pour en savoir plus : www.hceres.fr

INFORMATION

69%

des personnes interrogées dans le cadre du Baromètre IRSN 2017 sont favorables à ce que les avis techniques de l'Institut soient partagés avec des associations ou des citoyens.

68%

des Français préfèrent avoir accès eux-mêmes aux dossiers d'expertise et construire ainsi leur propre opinion.

Vie de l'Institut



Analyse des coupes tissulaires au microscope.

© Olivier Seignette / Mikael Lafontain / Médiathèque IRSN

Réorganisation S'adapter à des attentes plus exigeantes

Pour renforcer la lisibilité de ses missions et optimiser les synergies entre recherche et expertise, l'IRSN fait évoluer son organisation. Un nouveau pôle “Santé et Environnement” a vu le jour le 1^{er} juillet 2017, dirigé par Jean-Marc Peres. Objectif : s'adapter à des attentes institutionnelles, techniques et sociétales de plus en plus exigeantes.

En santé, l'accent est mis sur la gestion des aspects sanitaires en cas de crise nucléaire et la recherche en radiobiologie. L'Institut souhaite approfondir la connaissance des impacts des rayonnements sur les tissus sains et les effets liés aux faibles doses. *“Les techniques utilisant les rayonnements ionisants en médecine évoluent très vite, constate Jean-Christophe Gariel, en charge de la direction de la santé. Il est important d'en évaluer les effets secondaires afin de les minimiser. Nous nous devons de développer notre capacité de recherche pour répondre à cette attente sociétale.”*

Developper la science participative

Autre défi, l'analyse des risques pour l'environnement. *“Nous réunissons dans un même pôle tout ce qui concerne la recherche, la simulation numérique, la surveillance et la mesure en situations d'intervention et de crise. L'objectif est d'élaborer des analyses des risques impliquant l'ensemble des acteurs pour avoir une vision*

globale des problématiques. Nous voulons proposer des solutions de gestion mieux proportionnées aux enjeux”, indique François Besnus, en charge de la direction de l'environnement. L'Institut souhaite aussi miser sur l'innovation et développer la science participative, par exemple en impliquant la population dans la mesure de la radioactivité atmosphérique.

Un des objectifs de cette réorganisation est de conforter la capacité de gestion de crise. Dans cette optique, un directeur délégué à la crise, Jean-Luc Lachaume, a été nommé auprès du directeur général.



Un chercheur en radioécologie prélève des sédiments d'une rivière située au nord de la ville de Fukushima.

© Patrick Boyer / Médiathèque IRSN

Santé



Deux souris PAI-1 génétiquement modifiées au Laboratoire de radiobiologie des expositions médicales.

© Médiathèque IRSN

« Grâce à ce modèle, la recherche progresse sur des complications de la radiothérapie.

Recherche

Lésions radio-induites : un gène mis en cause

Pour étudier les dommages causés aux tissus sains lors d'une radiothérapie, des chercheurs de l'IRSN ont développé un modèle de souris unique génétiquement déficiente pour un gène particulier. Il s'agit du PAI-1. Les scientifiques ont éteint ce gène dans l'endothélium¹, où il est très actif. Ils ont ainsi constaté que les lésions tissulaires radio-induites au niveau de l'intestin sont moins nombreuses. "C'est une étape importante pour poursuivre les recherches sur ces complications, précise Fabien Milliat, chercheur en radiobiologie et radiopathologie. Grâce à

ces travaux, nous espérons limiter les séquelles chez les patients traités en radiothérapie".

Le rôle du gène PAI-1 dans l'endothélium a aussi été mis en évidence dans l'obésité, les maladies neurodégénératives ou les maladies cardio-vasculaires. Ce modèle expérimental de souris déficiente est également utilisé pour améliorer les connaissances sur ces pathologies.

1. Tissu formé de cellules plates et constituant le revêtement interne du cœur et les vaisseaux.

www Pour en savoir plus : www.irsn.fr/rosiris

Sûreté



Depuis 5 ans, le logiciel Astec contribue à l'élaboration de scénarios d'exercice de crise nucléaire.

© Arnaud Bouisson / MEDDE / Médiathèque IRSN

Astec

Un logiciel pour évaluer les rejets

Simuler un accident grave dans les réacteurs à eau sous pression pour évaluer le terme source¹ et vérifier la pertinence des procédures de conduite accidentelle et de mitigation, telles sont les principales missions d'Astec². Ce logiciel reproduit l'ensemble des phénomènes en cas de fusion d'un cœur de réacteur, depuis l'événement initiateur jusqu'à l'éventuel rejet radioactif. "La nouvelle version d'Astec est utilisable pour les différents types de réacteurs. Pour les REB³, nous avons amélioré la modélisation de la dégradation du cœur", précise

Patrick Chatelard, chargé de mission Astec. Le logiciel est utilisé par plus de 30 instituts d'expertise, universités et industriels dans le monde.

1. Le terme source désigne la nature, la quantité et la cinétique de rejet des produits radioactifs d'une installation nucléaire soit en conditions normales de fonctionnement, soit au cours d'un accident.
2. Accident Source Term Evaluation Code.
3. REB : réacteur à eau bouillante. La centrale de Fukushima est équipée de ce type de réacteurs.

www Pour en savoir plus : www.irsn.fr/astec

Environnement

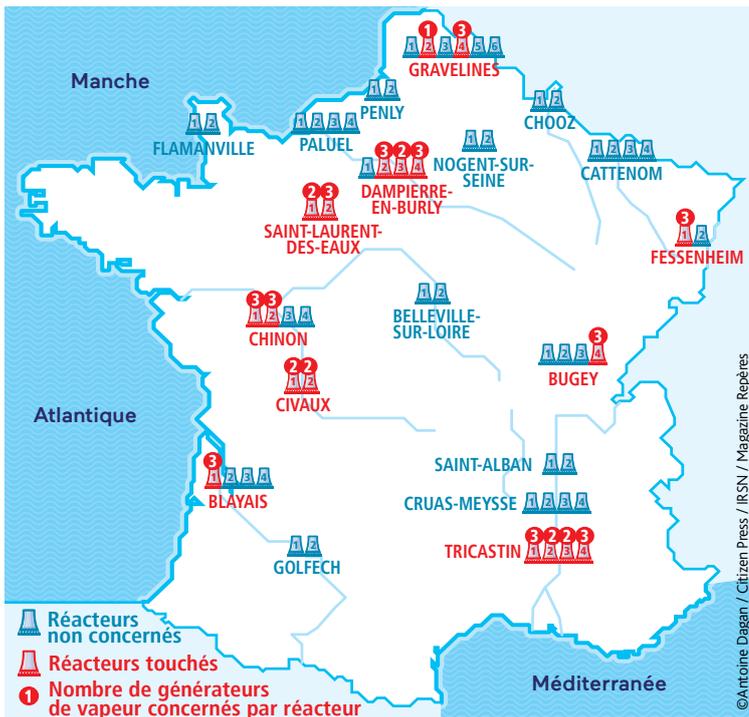
Des formations pour les experts de Singapour

Développer ses compétences en radioprotection et renforcer son dispositif de surveillance environnementale... tel est l'objectif de l'université de Singapour, au regard des installations nucléaires existantes ou en projet dans les pays voisins. Pour l'aider à y parvenir, les experts de l'IRSN dispensent des formations en radioprotection, radiécologie et surveillance environnementale aux scientifiques. "Nous leur transmettons notre savoir-faire", précise Philippe Renaud, coordonnateur pédagogique à l'IRSN.

Parmi les thématiques abordées : l'origine des substances radioactives, leur transfert et leur mesure dans l'environnement, les expositions de la population ou encore la caractérisation radiologique de l'environnement en cas d'accident. L'université de Singapour aspire également à devenir une référence en Asie du Sud-Est en matière de radioprotection et de sûreté nucléaire.

www Pour en savoir plus : www.enstti.fr

FAITS ET PERSPECTIVES



Le générateur de vapeur est un échangeur de chaleur entre le circuit primaire et le circuit secondaire. Il mesure entre 20 et 25 mètres de haut sur 4 mètres de diamètre.

Anomalies sur les générateurs de vapeur Traitement immédiat, suivi à long terme

En 2015, des anomalies sont relevées sur les fonds primaires¹ de générateurs de vapeur de 18 réacteurs français. EDF procède alors à des campagnes de caractérisation et à des études approfondies, et, parallèlement, met en place des mesures compensatoires². Autant d'éléments analysés par les experts de l'IRSN.

Fin 2014, une anomalie est détectée dans la composition chimique du couvercle et du fond de la cuve de l'EPR de Flamanville (Manche). Dans certaines zones, le taux de carbone de l'acier est anormalement élevé. Il s'agit d'une « ségrégation majeure positive résiduelle ». Ce phénomène, lié au procédé de fabrication de l'acier, modifie les propriétés du matériau, qui devient plus fragile et moins résistant à la rupture (voir infographie). EDF informe l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) que 46 fonds primaires de générateurs de vapeur fabriqués par le forgeron japonais JCFC et par la société française Creusot Forge sont susceptibles d'être concernés par ces « ségrégations ». Des mesures *in situ* pour caractériser la topologie des zones

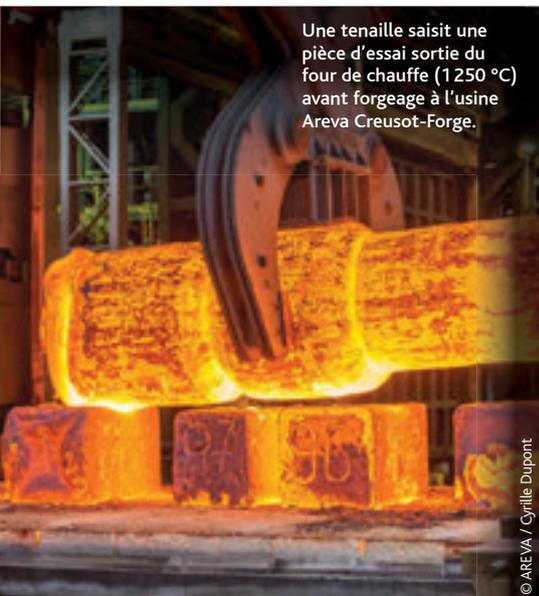
ségrégées sont effectuées sur les dix-huit réacteurs français touchés (voir carte). L'industriel réalise des études spécifiques pour pouvoir maintenir en exploitation ses réacteurs. Il met rapidement en place des mesures compensatoires. L'ensemble de ces éléments sera évalué par l'IRSN.

Évaluer le risque de rupture brutale

L'industriel engage au début de l'année 2016 des études sur les fonds primaires forgés par Creusot Forge. Il doit examiner les conséquences de l'anomalie et les risques pour les générateurs concernés. Trois conditions peuvent entraîner une rupture brutale si elles sont réunies : l'existence de défauts d'une taille suffisante, une

faiblesse dans la ténacité de l'acier et un choc thermique. Pour son expertise, l'Institut se base à la fois sur les éléments transmis par EDF et sur ses moyens de calcul pour fonder son avis. Ce travail implique des experts en thermohydraulique, en métallurgie, en mécanique et en sûreté de l'exploitation des réacteurs. Ils analysent les « sollicitations » susceptibles d'affecter les générateurs, les propriétés mécaniques de l'acier et les mesures compensatoires proposées par l'exploitant.

« Nous devons avoir une bonne connaissance de la concentration en carbone de chaque générateur de vapeur, résume Julien Beaucourt, expert en sûreté des réacteurs à eau sous pression. Une telle caractérisation implique la mise à l'arrêt des réacteurs. Compte tenu des difficultés de mesure et de qualification des propriétés mécaniques de l'acier ségrégué, l'industriel a proposé des mesures compensatoires. Celles-ci vont limiter les sollicitations thermomécaniques susceptibles d'affecter les fonds primaires et donc d'induire des risques de rupture brutale. » Ces mesures imposent à l'exploitant des contraintes importantes mais nécessaires pour garantir la sûreté des installations. Les experts conseillent de renforcer certaines actions, notamment pour limiter les chocs thermiques sur les fonds primaires. La mise en œuvre de ces mesures compensatoires par les exploitants a fait l'objet d'inspections de l'ASN, auxquelles l'IRSN s'est associé.



Une tenaille saisit une pièce d'essai sortie du four de chauffe (1 250 °C) avant forgeage à l'usine Areva Creusot-Forge.

© AREVA / Cyrille Dupont

“Les contrôles réalisés par EDF ont montré que les teneurs maximales en carbone des fonds des générateurs de vapeur fabriqués par Creusot Forge ne dépassaient pas 0,3 % et que les justifications et mesures compensatoires garantissaient l'absence de risque de rupture brutale”, ajoute Frédérique Picheureau, experte en sûreté à l'IRSN. En juillet 2016, les 6 réacteurs concernés peuvent redémarrer.

Le forgeron japonais sur la sellette

Fin août 2016, les mesures effectuées sur le fond primaire du générateur de vapeur du réacteur 1 de Tricastin (Drôme), forgé par JCFC, révèlent un taux de carbone plus élevé : 0,39 %. EDF doit réaliser des contrôles sur l'ensemble des générateurs fabriqués par le japonais et fournir des études pour justifier leur maintien en fonctionnement. “Des contrôles non destructifs sont effectués au moyen d'une sonde à ultrasons. Ils confirment que les pièces ne présentent pas de défauts ni de préfissures. Tous les fonds primaires JCFC sont cartographiés par l'industriel pour vérifier leur concentration en carbone”, détaille Olivier Loiseau, expert en équipements et structures. Les contrôles réalisés ne mettent pas en évidence de teneur en carbone supérieure à 0,4 %, valeur considérée par l'exploitant dans ses études.

L'IRSN copilote une mission au Japon pour comprendre l'origine de ces teneurs excessives. Comme pour les fonds provenant de Creusot Forge, la ségrégation apparaît lors du refroidissement des lingots qui servent à forger les fonds (voir infographie). “Le phénomène physique étant connu, nous en déduisons qu'au niveau de l'acier il n'y a pas d'évolution à craindre. De plus, un matériau où l'on ne détecte pas de

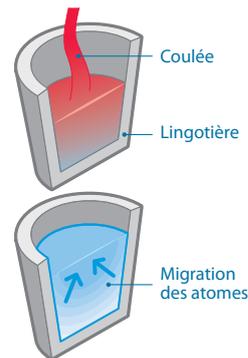
EN CLAIR

Anomalie sur les générateurs de vapeur : de quoi s'agit-il ?

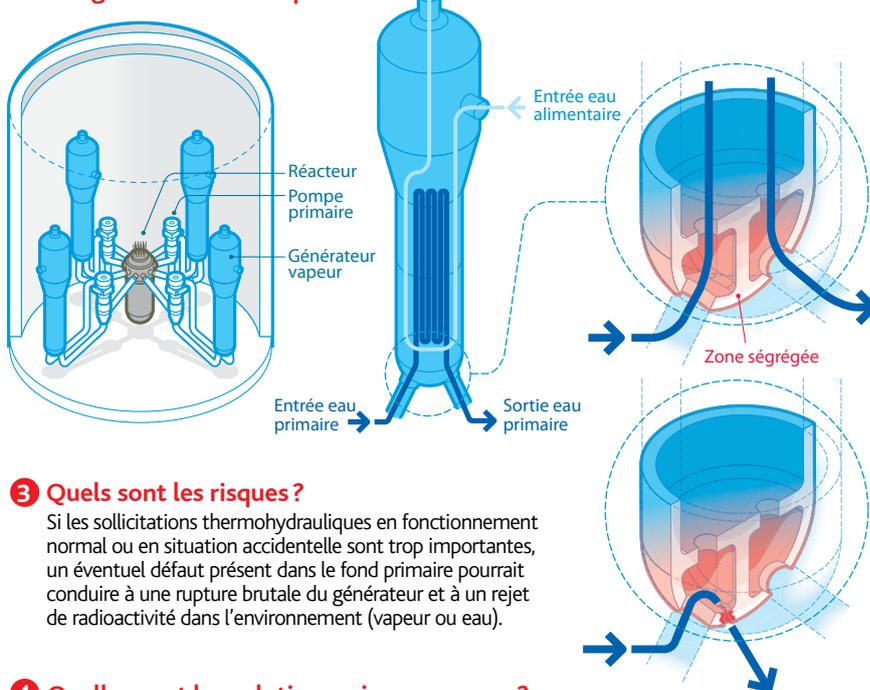
46 fonds primaires de générateurs de vapeur français présentaient un taux de carbone élevé, susceptible de les fragiliser. En cause, le procédé de fabrication de l'acier. Explications

1 Qu'est-ce qu'une ségrégation résiduelle de carbone ?

La fabrication d'une pièce forgée passe d'abord par la coulée d'un lingot. Pendant le refroidissement, lors de la solidification, certains atomes de l'acier “migrent” dans la partie encore liquide. Ce phénomène, la diffusion, fait varier la concentration chimique des différents éléments dans le lingot. C'est une ségrégation majeure. À certains endroits, la concentration en carbone est anormalement élevée. Cela réduit la ténacité de l'acier, formé de fer, de carbone et d'autres éléments d'alliage.



2 Quelles sont les zones concernées des générateurs de vapeur ?

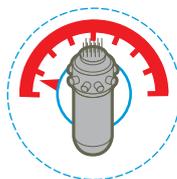


3 Quels sont les risques ?

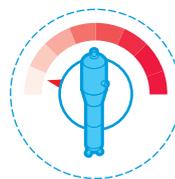
Si les sollicitations thermohydrauliques en fonctionnement normal ou en situation accidentelle sont trop importantes, un éventuel défaut présent dans le fond primaire pourrait conduire à une rupture brutale du générateur et à un rejet de radioactivité dans l'environnement (vapeur ou eau).

4 Quelles sont les solutions mises en œuvre ?

EDF a effectué des études approfondies : mesure du taux de carbone, nouvelles analyses de risque de rupture brutale. Il a aussi mis en place des mesures compensatoires pour limiter les sollicitations en fonctionnement normal ou en situation accidentelle. Il va par exemple moduler les “charges” qui sollicitent le générateur de vapeur. Il agit sur plusieurs paramètres comme :



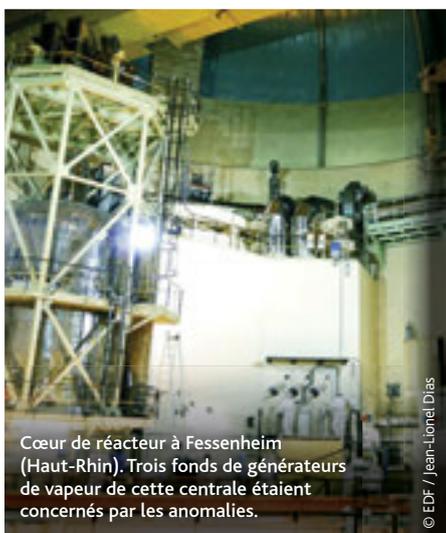
La vitesse à laquelle le réacteur va redémarrer, pour éviter des montées en température trop rapides.



Le gradient de température, pour refroidir ou réchauffer le circuit primaire.



L'ordre de mise en service des pompes du circuit primaire ou du circuit secondaire, avant le redémarrage du réacteur.



Cœur de réacteur à Fessenheim (Haut-Rhin). Trois fonds de générateurs de vapeur de cette centrale étaient concernés par les anomalies.

© EDF / Jean-Lionel Dias

défaut ne risque pas de rompre”, souligne Olivier Loiseau. L'IRSN mobilise ses compétences pour évaluer les nouvelles études de l'industriel. Il publie finalement son avis le 6 décembre 2016. Entre décembre 2016 et janvier 2017, les douze réacteurs touchés peuvent redémarrer.

Des essais jusqu'en 2020

Au-delà des actions immédiates nécessaires pour poursuivre l'exploitation des réacteurs concernés, un programme d'essais en laboratoire sur des pièces sacrificielles³ est engagé sur quatre années – jusqu'en 2020. Ces pièces, forgées comme les fonds porteurs d'anomalie, sont soumises à diverses sollicitations et étroitement surveillées. Le principal objectif est d'évaluer précisément les marges prises par prudence dans les dossiers de démonstration analytique. “EDF pourrait aussi arguer du résultat des essais pour demander le retrait de certaines mesures compensatoires mises en place”, indique Frédérique Pichereau. ■

1. *Fond primaire* : portion de sphère en acier située à la base du générateur de vapeur servant à confiner l'eau du circuit primaire, portée à haute température et à pression élevée dans le cœur du réacteur.
2. *Mesures compensatoires* : mesures d'exploitation visant à exclure les transitoires thermohydrauliques les plus pénalisants ou à réduire leur impact sur les risques de rupture brutale.
3. *Pièces sacrificielles* : pièces « sacrifiées » à l'expérimentation.

www Pour en savoir plus : www.hctisn.fr

Quel a été votre rôle dans le dossier des anomalies affectant les générateurs de vapeur ?

Le Haut Comité est une instance d'information et de concertation sur les risques liés aux activités nucléaires. En octobre 2016, Ségolène Royal, alors ministre de l'Environnement, a demandé au HCTISN de traiter cette question. Nous l'avons inscrite à l'ordre du jour de notre séance plénière du 6 décembre 2016, qui rassemblait tous les acteurs du groupe de suivi “Anomalies Cuve EPR”, constitué depuis octobre 2015 : fabricant,

exploitant, association nationale des comités et commissions locales d'information (Anccli), associations de protection de l'environnement, experts techniques, syndicats, parlementaires...

Comment s'est déroulée cette réunion ?

Les différents acteurs – Areva, EDF, IRSN et ASN – ont présenté leurs éléments techniques. Se sont ensuivis

débats et questions. Au final, nous avons publié notre avis n°8 “relatif aux anomalies de concentration en carbone de certains générateurs de vapeur des réacteurs d'EDF”.

Le public a-t-il été suffisamment informé ?

Nous avons estimé que la population avait été correctement informée sur ces anomalies. Nous avons demandé à l'ASN d'informer les commissions locales d'information (Cli) des motivations de sa décision d'autoriser le redémarrage des réacteurs. L'Autorité et l'exploitant doivent également expliquer aux Cli les contraintes liées à l'exploitation des réacteurs comme la résistance du matériel face aux variations de température.

3 questions à...

Benoît Bettinelli,

secrétaire général du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN).



© Alexis Quenelle



La centrale nucléaire de Doel, dans le port d'Anvers

© Rudy de Barse / ENCLIE Electrabél

AILLEURS

En Belgique, des cuves sous surveillance accrue

En 2012, des milliers de « défauts » sont découverts dans la paroi des cuves des réacteurs Doel 3 et Tihange 2 en Belgique, qui sont mis à l'arrêt. Rapidement, leur origine est établie. Il s'agit de défauts dus à l'hydrogène, dits DDH, apparus au cours de la fabrication des cuves du fait d'un excès d'hydrogène dans l'acier. Ces défauts sont-ils révélateurs de cuves aux propriétés mécaniques amoindries ? Peuvent-ils conduire à la rupture des cuves ?

Telles sont les questions auxquelles Bel V, l'homologue belge de l'IRSN, et Electrabél, l'exploitant, ont dû répondre. Une série de tests et de nombreuses expertises et études ont été menés pour montrer l'absence de nocivité des défauts. En mai 2013, l'AFCN¹ a donné son feu vert au redémarrage des deux réacteurs.

1. Agence fédérale de contrôle nucléaire.

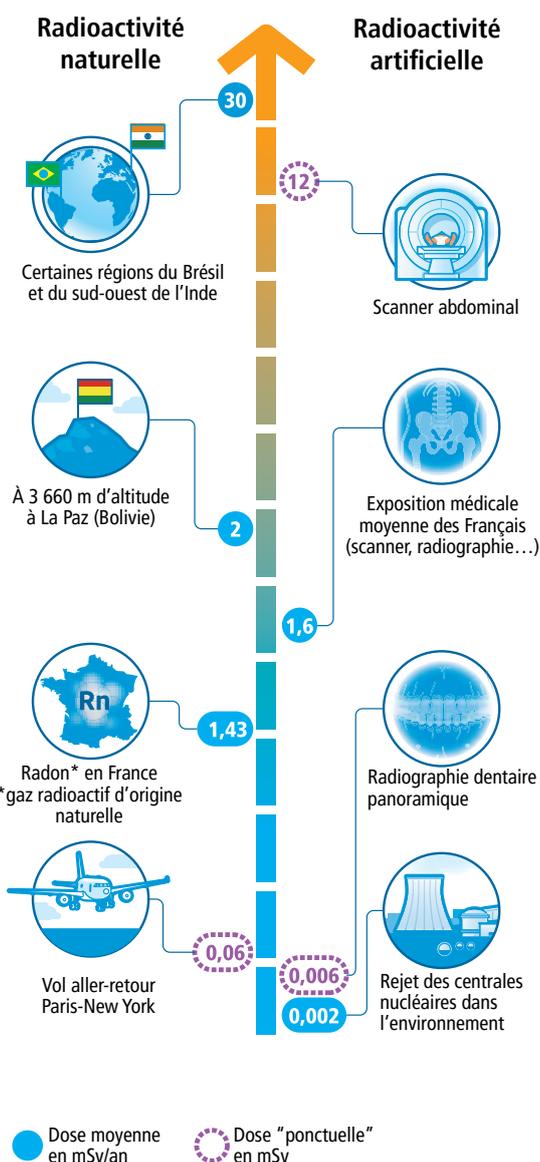
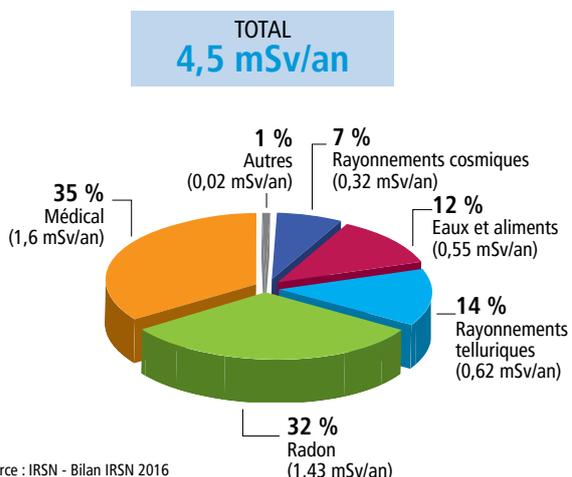
www Pour en savoir plus : www.fanc.fgov.be/

Face aux risques

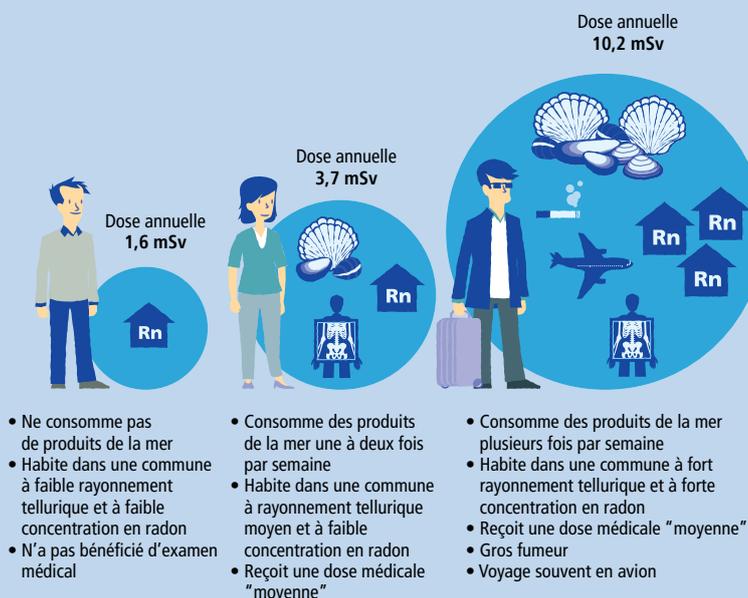
Quelles précautions prendre ?

Professionnels de la sûreté et de la radioprotection, vous êtes nombreux à utiliser les infographies parues dans *Repères*. Dans un but de prévention et de formation. Pédagogiques et opérationnelles, elles sont utiles pour la prise de conscience des risques. Elles aident à se situer par rapport aux bonnes pratiques. Dans ce cahier détachable, ces schémas sont sous la forme de fiche pratique pour vous faciliter leur utilisation. Radon, gammagraphe, paratonnerre... à découvrir sur 8 pages.

L'exposition à la radioactivité :



L'exposition varie selon les individus



Comment se protéger face

L'utilisation d'un gammagraphe, sur un chantier, nécessite des précautions particulières. Avant et pendant l'opération, la zone doit être balisée. C'est le fruit d'un important travail de mise en place et de vérification. Feuille de route pour prévenir les risques et répondre aux règles de radioprotection.

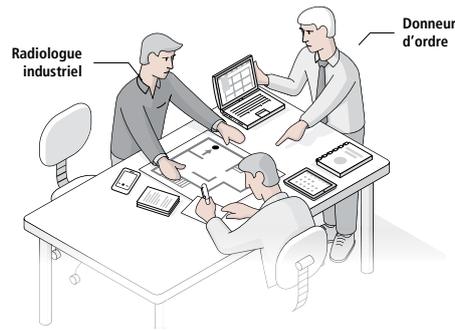
Calculer la distance de balisage

en fonction des caractéristiques de la source et des protections collectives qui seront mises en place (collimateur...). Cette distance est à respecter dans les trois dimensions (hauteur, largeur, longueur).

Dessiner un plan de balisage

fiable et facile à lire par l'opérateur le jour J. L'insertion de photos en annexe peut être une bonne idée.

La numérotation des balises et la planification séquentielle de la pose et de la dépose peuvent être utiles.



Effectuer une visite in situ

pour vérifier que le balisage prévu est adapté,

Anticiper toutes les contraintes

présentes le jour de l'intervention : accessibilité de la pièce, possibilité de coactivité, spécificités liées à l'heure d'intervention, etc.

Anticiper les incidents

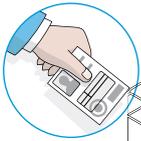
ou accidents et définir à chaque fois la marche à suivre. Par exemple : s'éloigner si la source est bloquée dans la gaine d'éjection et contacter immédiatement la personne compétente en radioprotection (PCR) ; le protocole d'urgence à mettre en place si une personne traverse le balisage.

Le jour J

- Vérifier l'état de fonctionnement et l'étanchéité du matériel** (gammagraphe, radiamètre, dosimètres) avant de se rendre sur le site.



- Signaler sa présence à l'accueil** et l'objet de l'intervention, dès l'arrivée sur le site.



- Mettre en place le balisage** autour du gammagraphe et, si besoin, aux étages supérieurs et/ou inférieurs.

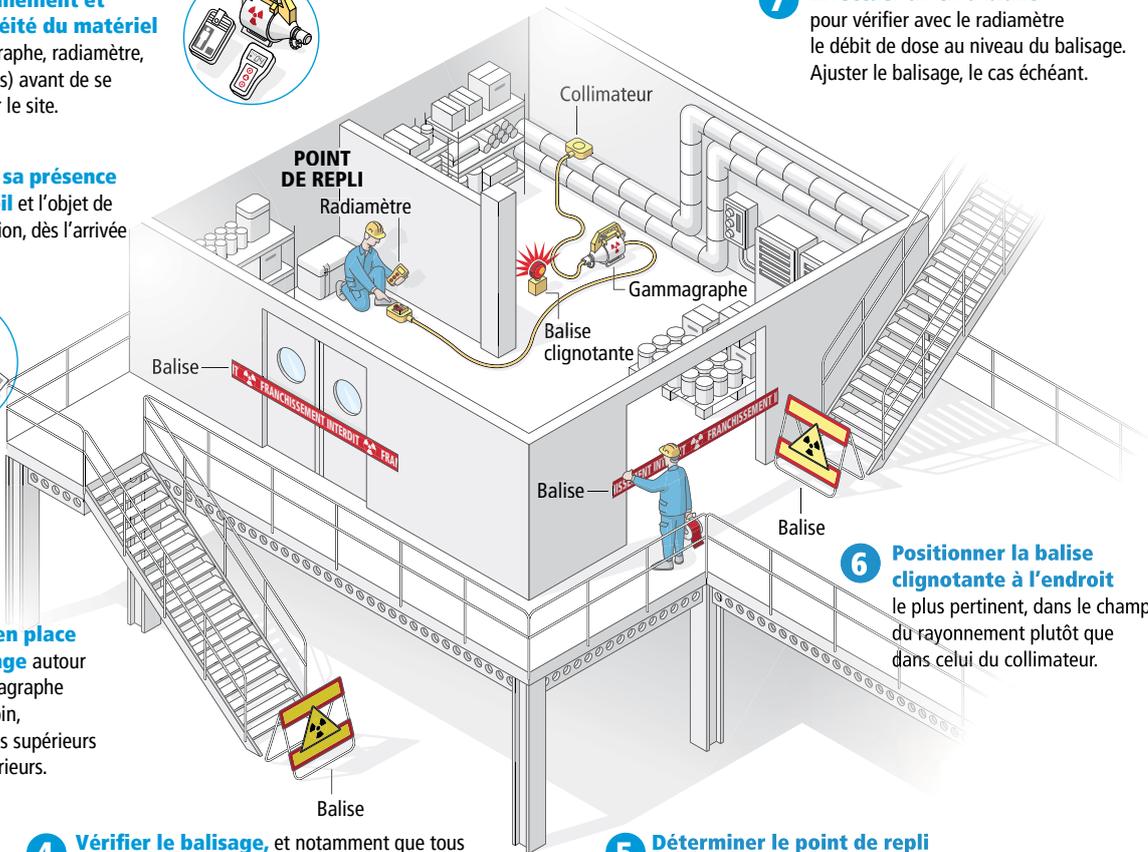
En cas de doute sur le balisage, contacter la PCR.

- Vérifier le balisage**, et notamment que tous les accès sont bloqués. La vérification est plus sûre quand elle est réalisée depuis l'intérieur de la zone, par une personne différente de celle ayant mis en place le balisage.

- Effectuer un tir à blanc** pour vérifier avec le radiamètre le débit de dose au niveau du balisage. Ajuster le balisage, le cas échéant.

- Positionner la balise clignotante à l'endroit** le plus pertinent, dans le champ du rayonnement plutôt que dans celui du collimateur.

- Déterminer le point de repli** d'où déclencher le tir : il doit permettre de surveiller la source tout en gardant un contact visuel avec le binôme chargé de superviser le balisage.



* technique de contrôle non destructif réalisée à l'aide d'une source radioactive émettrice de rayonnements gamma. Elle sert à contrôler la qualité des soudures ou à mettre en évidence des faiblesses sur des pièces métalliques.

Comment limiter l'exposition lors

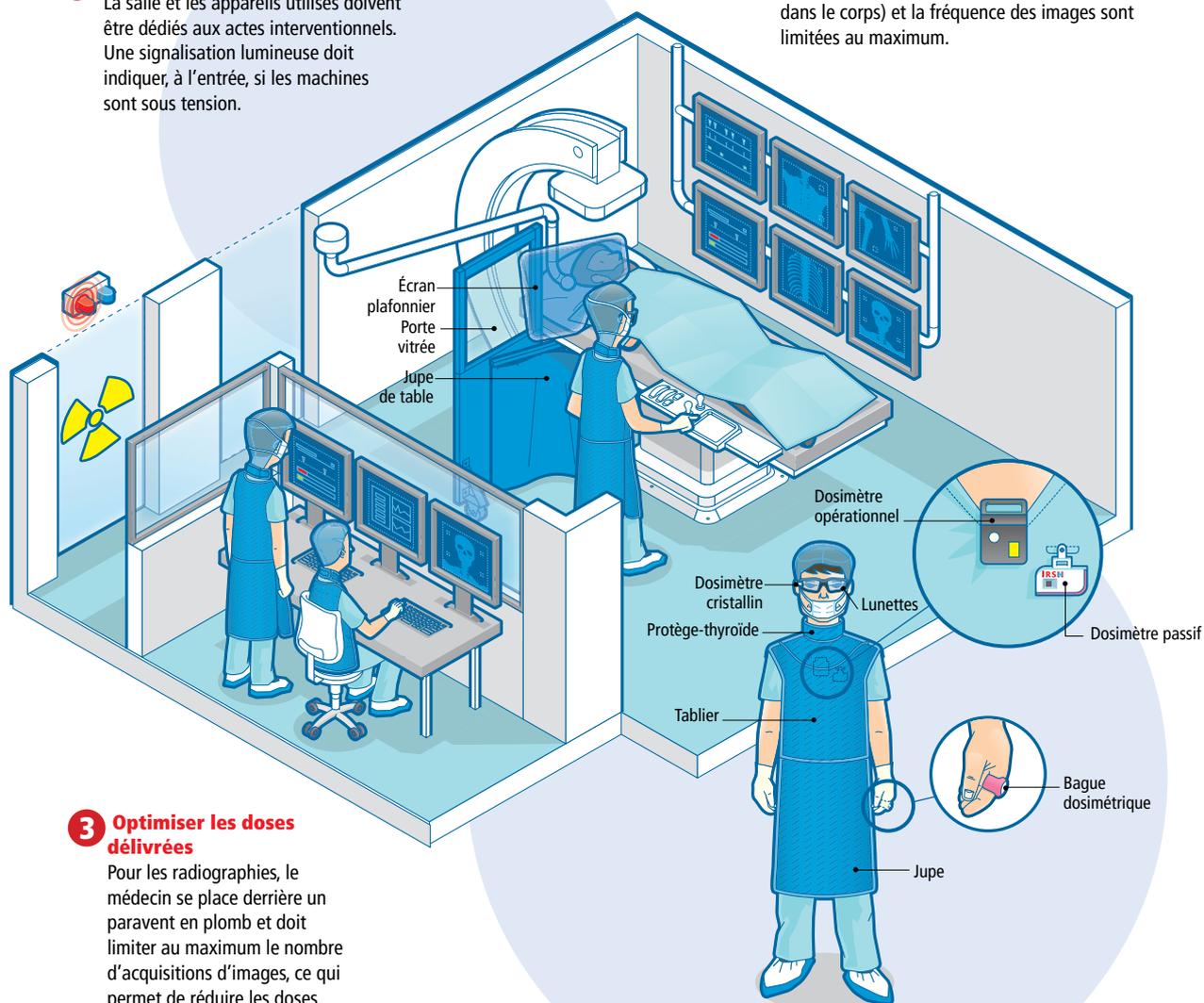
La protection contre les rayonnements s'appuie sur trois grands principes : réduire le temps d'exposition aux rayonnements, se mettre à distance, interposer des écrans entre soi et la source. Parce qu'ils ne peuvent pas s'éloigner beaucoup de leurs patients pendant les opérations, les praticiens interventionnels doivent optimiser leurs procédures.

1 Travailler en zone contrôlée

La salle et les appareils utilisés doivent être dédiés aux actes interventionnels. Une signalisation lumineuse doit indiquer, à l'entrée, si les machines sont sous tension.

2 Utiliser des écrans de protection

Pendant l'intervention, des écrans en plomb, placés au plus près du patient, protègent le médecin. Le tube à rayons X est sous la table d'opération et le capteur au-dessus. La dose appliquée pour la radioscopie (suivi de la progression d'une sonde dans le corps) et la fréquence des images sont limitées au maximum.



3 Optimiser les doses délivrées

Pour les radiographies, le médecin se place derrière un paravent en plomb et doit limiter au maximum le nombre d'acquisitions d'images, ce qui permet de réduire les doses délivrées au patient.

4 S'équiper de protections

Des lunettes plombées et couvrantes, adaptées si besoin à la vue du praticien, complètent une tenue composée d'un tablier, d'une jupe et d'un protège-thyroïde en plomb. Le médecin porte deux dosimètres, un passif tout au long de sa journée de travail et un opérationnel quand il est en zone contrôlée. S'y ajoutent deux autres dosimètres, à l'œil et au doigt.

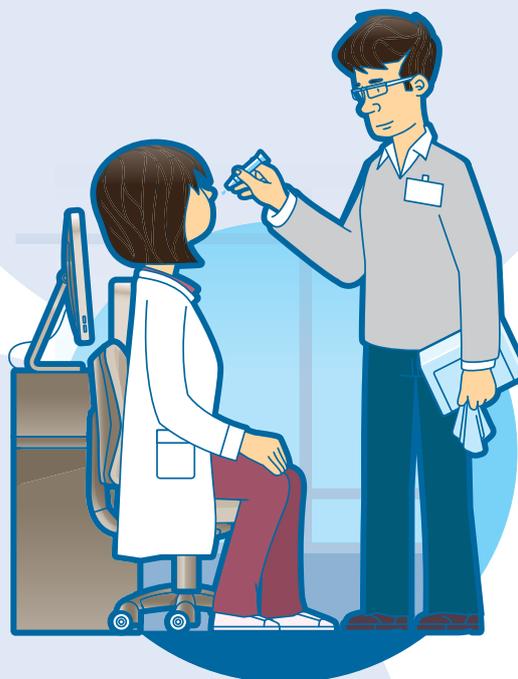
Quelle prise en charge après

La projection d'un produit radioactif dans l'œil peut survenir lors de sa manipulation par un travailleur. La personne compétente en radioprotection (PCR) doit prendre en charge en urgence le collaborateur concerné : évaluer le risque, décontaminer, évacuer les déchets et signaler l'incident.

- 1** **Véronique M., technicienne dans un laboratoire de recherche, reçoit une goutte dans l'œil** lors de la manipulation d'une pipette contenant du technétium 99. Cet incident peut survenir lors de gestes effectués quotidiennement.



- 2** **Laver l'œil**
Un lavage oculaire avec de l'eau ou du sérum physiologique est effectué au plus vite par Véronique M., le cas échéant avec l'assistance de Jacques T., personne compétente en radioprotection (PCR). Le visage est lavé avec de l'eau, un savon doux ou des lingettes.



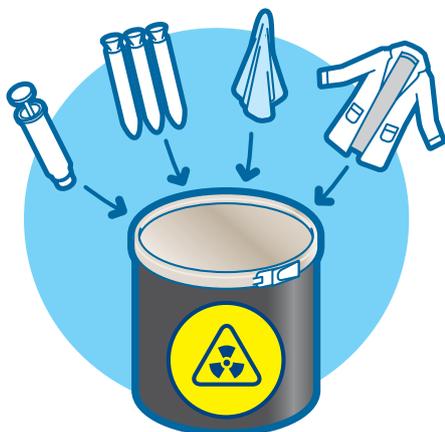
- 3** **La PCR évalue la contamination et la dose associée**
Avec un détecteur de contamination approprié, la PCR contrôle l'activité du radionucléide au niveau de l'œil et du visage. En cas de contrôle positif, un nouveau lavage est effectué. Si une contamination résiduelle persiste, une évaluation de la dose à l'œil et à la peau est réalisée avec l'IRSN.



- 4** **Contrôler le risque de transfert interne**
Une contamination externe du cristallin risque d'entraîner une contamination interne après passage par les larmes dans le sang. Il est impératif de collecter des urines sur une période de 24 heures et de les envoyer pour examen à un laboratoire d'analyse médicale de radiotoxicologie, tel que celui de l'IRSN au Vésinet (Yvelines).

5 La PCR décontamine la pièce et les objets

Le sol, les instruments et les meubles du laboratoire où l'incident est survenu doivent être contrôlés et, si nécessaire, décontaminés, tout comme les chaussures de toutes les personnes ayant travaillé dans le local.

**6 Évacuer les déchets**

Les déchets – seringue, sérum, eau de lavage, lingettes et vêtements contaminés – sont déposés dans des poubelles plombées, puis entreposés dans un local dédié pendant au moins dix périodes radioactives du radionucléide.

**7 Signaler l'incident**

Jacques T. prévient le médecin du travail. Parallèlement, avec son employeur, il déclare l'incident à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Cette déclaration doit être faite dans les 48 heures suivant l'événement. Il en fait parvenir une copie à l'IRSN.

**8 Sensibiliser le personnel exposé**

Jacques T. organise une sensibilisation à la radioprotection. L'incident montre qu'il est nécessaire d'informer à nouveau le personnel sur les conduites à risque. Il rappelle les règles via des panneaux et des notes. Il insiste sur le nécessaire port des équipements de protection individuelle (EPI) : lunettes englobantes, vêtements et gants de protection...

Quelles recommandations

Il existe plus de 800 types de minéraux naturellement radioactifs. Apprendre à les reconnaître et à les conserver dans les règles de l'art vous aidera à vous protéger si vous les collectionnez ou les ramassez.



Les trois minéraux radioactifs les plus présents chez les particuliers



Autunite

Cet uranophosphate naturel de calcium se présente en cristaux tabulaires.



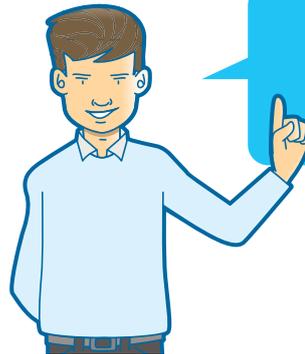
Pechblende

Cet oxyde naturel d'uranium est le plus important minéral d'uranium.



Monazite

Phosphate naturel de terres rares, contenant souvent de l'uranium ou du thorium.



En cas de doute sur un minéral, contactez l'Andra, qui vous indiquera la marche à suivre.

Vous pouvez contacter l'Andra

- par téléphone : 01 46 11 83 27
- par mail : collecte-dechets@andra.fr

Regroupez auparavant un maximum d'informations sur vos minéraux : aspect, état, taille, origine... Joignez une photo de vos minéraux à votre e-mail.

Quelle est la concentration

Gaz radioactif d'origine naturelle, le radon est considéré en France comme la seconde cause de mortalité par cancer du poumon. Michel Durand est un particulier : comment peut-il savoir si son habitation est concernée ? Comment le dépister et limiter sa présence ?

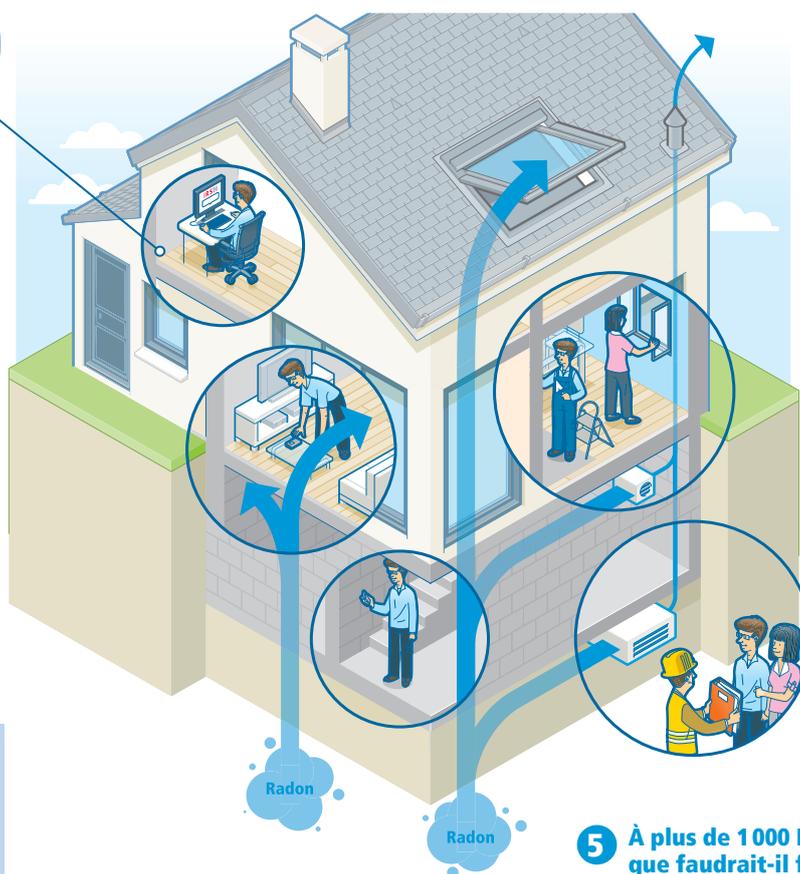
1 Suis-je concerné ?

Michel Durand consulte le site Internet de l'IRSN pour connaître le potentiel radon de sa commune. Celui-ci est moyen : plus de 40 % des bâtiments y présentent un taux de radioactivité supérieur à 100 Bq/m³. Il commande des dosimètres auprès d'un laboratoire spécialisé pour faire des mesures chez lui. Cela ne lui



2 Comment dépister le radon ?

Michel Durand pose les dosimètres dans les pièces où il passe le plus de temps. Il les laisse deux mois, avant de les renvoyer au laboratoire pour analyse. Quinze jours plus tard, il a une réponse : la radioactivité moyenne chez lui dépasse 300 Bq/m³. Il s'astreint à aérer plus



À savoir 300 Bq/m³

C'est le seuil que l'Organisation mondiale pour la santé (OMS) recommande de ne pas dépasser et la valeur de référence à laquelle la Commission européenne demande aux États membres de se référer (directive européenne 2013/59/Euratom du 5 décembre 2013).

3 D'où vient ce gaz ?

Afin de voir rapidement si l'aération suffit, Michel Durand peut se procurer un dosimètre électronique radon – permettant des mesures en temps réel – sur un site de commerce en ligne, pour 250 euros environ. Comme le problème persiste, il peut utiliser le même appareil pour trouver la source de la

4 Que faire pour réduire la concentration en radon ?

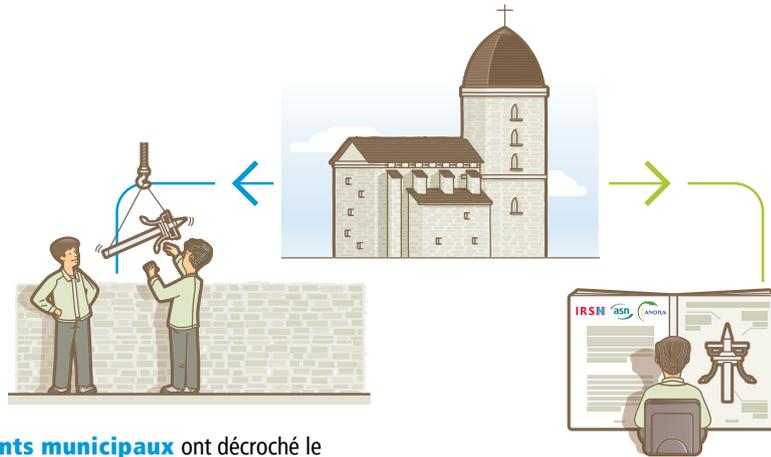
Michel Durand est bon bricoleur. Il réfléchit à plusieurs solutions : créer une entrée d'air dans la cave, y installer une ventilation mécanique, boucher des fissures entre le bâtiment et le sous-sol, colmater les passages de canalisations entre la cave et la partie habitée, etc. Ces solutions ne coûtent pas

5 À plus de 1 000 Bq/m³, que faudrait-il faire ?

Les particuliers peuvent préférer faire appel à un professionnel pour un diagnostic plus précis. Dans certains cas, les solutions sont coûteuses. Des travaux de reprise de dalle et d'étanchéification ou un système de mise en dépression du sous-sol qui permet de drainer le radon et de le rejeter dans l'air extérieur peuvent atteindre

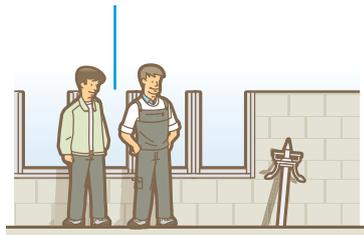
Comment décrocher sans

Pendant des années, des milliers de paratonnerres à tête radioactive ont été installés sur les toits des édifices, jusqu'à leur interdiction en 1987. En 2011, en Corse, plusieurs personnes ont manipulé un de ces appareils sans précaution. Voici ce qu'il aurait fallu faire pour limiter leur exposition à des rayonnements ionisants.



- 1** Les agents municipaux ont décroché le paratonnerre – un modèle Helita à pastilles – sans se douter qu'il contenait de la matière radioactive.

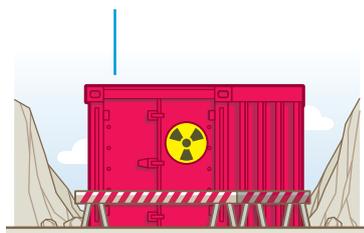
- 1** Avant de s'occuper d'un paratonnerre, il faut se renseigner sur le modèle. Certains contiennent des substances radioactives et doivent être traités comme des déchets radioactifs, avec des modalités de transport et de stockage particulières. Voir le Guide d'enlèvement des déchets radioactifs, publié par l'Andra.



- 2** Ils l'ont apporté chez un ferronnier, qui l'a entreposé dans son arrière-cour.



- 2** La dépose d'un paratonnerre radioactif nécessite l'intervention d'une société spécialisée, qui connaît le protocole à suivre pour éviter toute contamination humaine ou environnementale : établissement d'un périmètre de sécurité, tenue de protection, colis adapté pour le stockage, etc. La liste des sociétés autorisées est disponible sur www.andra.fr.



- 3** Un particulier a alerté l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Celle-ci a demandé aux pompiers d'évacuer le paratonnerre vers un centre d'enfouissement technique, où il a été temporairement stocké dans un container, et à l'IRSN de faire des mesures sur l'objet et sur ses lieux d'entreposage. Il n'y a heureusement pas eu de contamination humaine et environnementale importante.

- 3** L'entreprise se chargera également du transport et de l'entreposage de l'objet, jusqu'à sa prise en charge par l'Andra.

- 4** Une entreprise autorisée par l'ASN a récupéré quelques jours plus tard le paratonnerre et l'a remis à l'Agence nationale de gestion des déchets radioactifs (Andra).





Balise Edgar installée au sein du Laboratoire d'études et de fabrications expérimentales de combustibles avancés (Lefca).

© Laurent Zylberman / Graphix-Images / Médiathèque IRSN

Balises radiologiques

Détecter une contamination atmosphérique

L'ESSENTIEL Dans les locaux à risque d'exposition radiologique des personnels, des balises détectent en temps réel les variations d'activité dans l'air. Elles mesurent la contamination atmosphérique et donnent l'alarme si besoin... À condition d'être correctement employées !

TÉMOIGNAGE Un chargé d'études en radioprotection. **DÉCRYPTAGE** Comment optimiser l'efficacité d'une balise ? **AVIS D'EXPERT** Une spécialiste en aérodispersion.



© EDF/Stéphanie Jayet

Benjamin Boussetta

Chargé d'études en radioprotection chez EDF. Il intervient comme appui technique en radioprotection pour les projets de déconstruction. Il supervise la radioprotection à la centrale de Brennilis (Finistère), en cours de démantèlement.

TÉMOIGNAGE "Les alertes intempestives nous rendent moins efficaces"

“ Sur les sites nucléaires, les opérations de déconstruction sont confinées par des sas ventilés. Des balises radiologiques placées à l'extérieur vérifient qu'aucune particule radioactive ne s'en échappe et que les opérateurs ne sont pas exposés. À Brennilis (Finistère), comme sur d'autres sites, nous avons constaté que, dans certaines conditions d'ambiance, ces détecteurs se déclenchaient intempestivement. Ces fausses alertes, si elles se produisent à répétition, induisent une perte d'efficacité. Il faut arrêter les opérations, appeler les services de prévention et de radioprotection, puis s'assurer de l'absence de contamination, avant de reprendre éventuellement les travaux. Ces alertes ont plusieurs causes. Des poussières non radiologiques présentes dans l'air ambiant – la plupart issues de travaux du génie civil de l'installation –

peuvent venir se déposer sur les filtres des détecteurs. Associées à la présence du radon, caractéristique du sol breton, ces poussières conduisent les balises à détecter des particules radioactives qui n'existent pas ! Cette hypothèse a été confirmée par des mesures effectuées par l'IRSN. Nous avons durci les règles de propreté du chantier pour réduire la production de poussières. Après échange avec le constructeur, nous avons augmenté la fréquence de renouvellement des filtres. D'autres alertes sont dues à un bruit de fond gamma trop élevé, généré par exemple par le passage à proximité de la balise d'un colis irradiant. Devant ce constat, nous avons fait ajouter un blindage spécifique sur les têtes de mesure, pour ne pas fausser la mesure en modifiant l'écoulement d'air ambiant autour des balises.” ■

Optimiser l'efficacité des balises

Dans les locaux où sont manipulés des produits radioactifs, la contamination atmosphérique est surveillée par des balises installées selon des règles précises.

L'histoire

Dans ce laboratoire de fabrication de pastilles de combustible nucléaire, Yannis H., opérateur, travaille en boîte à gants, où il presse de la poudre radioactive. Soudain, la boîte se dégrade au niveau d'un point faible, et de la matière radioactive est expulsée. Or la balise ne se déclenche pas. Heureusement, Yannis constate la présence de poudre au sol et alerte immédiatement les services de prévention et de radioprotection. Ceux-ci procèdent à l'évacuation des opérateurs et décontaminent rapidement les locaux. Pourquoi la balise ne s'est-elle pas déclenchée? Son emplacement au sein du laboratoire était vraisemblablement en cause. Le radioprotectionniste donne ses conseils pour un positionnement optimal dans les lieux où sont manipulés des produits radioactifs : installations nucléaires, grands laboratoires, locaux industriels...

1

Placer plusieurs balises dans le local

Si la localisation d'une fuite potentielle est connue, le radioprotectionniste doit placer une balise à proximité. Dans le cas contraire, un ou plusieurs détecteurs doivent être positionnés – dans la mesure du possible – à des endroits du local où le flux aéralique est homogène (voir point 4). De cette façon, la contamination atmosphérique pourra être détectée rapidement.

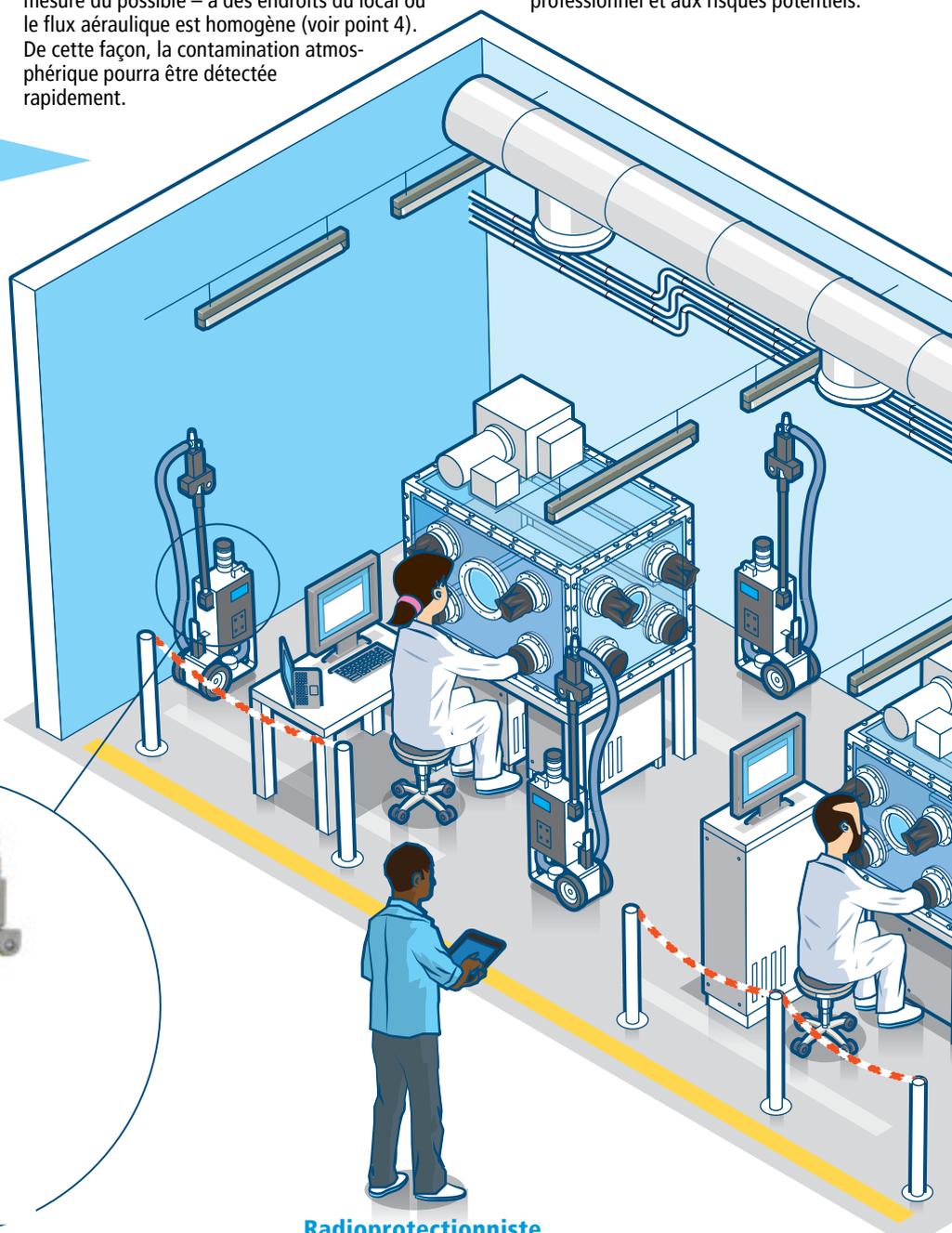
2

Choisir des balises adaptées

Les détecteurs diffèrent selon que l'on cherche à détecter des particules alpha, bêta ou des gaz radioactifs. Ils doivent être adaptés à l'environnement professionnel et aux risques potentiels.



© Mirion Technologies Inc.



Radioprotectionniste

ées des substances radioactives, des balises mesurent e et donnent l'alarme si besoin. Elles doivent être es. Voici sept conseils pour bien les positionner.

3

Définir le seuil de détection adéquat

Une mesure très fine implique un temps de comptage long – de l'ordre de l'heure. Les seuils très bas ne permettent pas une détection dans un temps court en raison de la sensibilité des appareils. Une mesure moins précise donnera l'alerte plus rapidement. Tout l'enjeu est de trouver le juste milieu.

Si l'opérateur n'est pas prévenu assez rapidement, il sera exposé à une inhalation plus importante.

4

Choisir une zone de ventilation homogène

Les balises doivent être placées loin des bouches d'aération et des zones « mortes », dans lesquelles le contaminant peut se trouver en surconcentration car la vitesse de renouvellement de l'air, et donc d'assainissement, y est faible. Le traçage gazeux et/ou particulaire est une aide pour implanter les balises (voir Avis d'expert, ci-contre).

5

Éviter les sources de chaleur

Le radioprotectionniste s'assure que les balises soient, autant que possible, éloignées des sources de chaleur, comme les fours. Celles-ci perturbent le flux aéroulrique et donc le transport des particules.

6

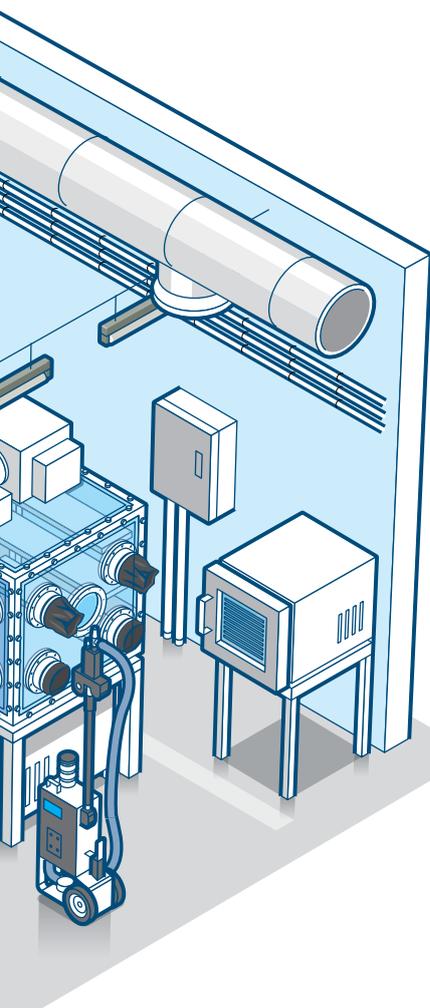
Préférer les zones peu encombrées

La présence d'obstacles – équipements de procédé, four, boîte à gants, bureau... – peut modifier les écoulements aéroulriques et créer des zones mal ventilées. Il faut limiter au maximum l'encombrement et, si possible, ne pas positionner la balise près d'un obstacle.

7

Positionner les balises à la bonne hauteur

Elles doivent être à hauteur de la tête de l'opérateur, idéalement entre 60 cm et un mètre de distance, mais ne doivent pas non plus le gêner.



www Pour en savoir plus
www.irsn.fr/lemac

AVIS D'EXPERT



Corinne Prévost

Experte en aérodynamisme et confinement à l'IRSN

“Nous enrichissons nos mesures avec la simulation”

“ Les exploitants doivent prouver leur capacité à maîtriser les risques de contamination radioactive dans les locaux, et justifier du bon positionnement des balises radiologiques. Certains font appel à l'IRSN pour réaliser des tests expérimentaux. Les experts de l'Institut possèdent un savoir-faire sur les techniques de traçage qui s'étend de l'injection de gaz ou de particules traceurs jusqu'à leur détection et l'interprétation des résultats. À l'issue de ces tests, nous remettons à l'exploitant un diagnostic sur le placement de ses détecteurs en regard des zones potentielles d'émission. Nous avons récemment enrichi ces mesures en nous appuyant sur des logiciels de simulation numérique d'écoulement des fluides (CFD, Computational Fluid Dynamics). Les résultats de la confrontation entre les tests expérimentaux et les simulations numériques sont encourageants. À l'avenir, nous proposerons cette nouvelle technique à davantage d'exploitants. À terme, elle pourrait même remplacer les essais *in situ* dans certains cas.”

CONTACT

Corinne Prévost
Tél. : 01 69 08 52 11
Corinne.prevast@irsn.fr

Quand des collégiens traquent le radon

Sensibiliser les élèves aux risques du radon : voilà le pari tenté par des enseignants de l'académie de Clermont-Ferrand, avec l'appui d'experts.

1 Quelle est l'origine de cette initiative et quels collèges y participent ?

Depuis quelques années, une exposition itinérante¹ sensibilise le public aux risques liés à la radioactivité naturelle et artificielle. Elle a été créée par l'IRSN en collaboration avec l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). En 2017, cette initiative est déployée dans plus de trente collèges et lycées dans toute la France. L'Institut met à disposition du public des kits de mesure de la radioactivité ambiante. En novembre 2015, l'inspectrice pédagogique de l'académie de Clermont-Ferrand, Florence Prost, organise, avec l'appui de l'IRSN, une formation de deux jours sur ce thème. Une quarantaine d'enseignants y participent. Plusieurs d'entre eux ont ensuite choisi le radon comme sujet d'un enseignement interdisciplinaire (EPI²) pour leurs élèves.

Au final, six collèges de la région Auvergne se sont lancés dans cette démarche. Il s'agit de l'une des régions de France les plus concernées par la radioactivité naturelle, car son socle granitique contient de l'uranium naturel. La désintégration de ce dernier produit du radon, un gaz présent dans l'environnement et qui peut s'accumuler dans des lieux mal ventilés. Au-delà d'une certaine concentration, il représente un risque pour les personnes.

1. « Radioactivité, des centaines de questions, une exposition »
<http://www.irsn.fr/56>
2. Enseignement pratique interdisciplinaire.
<http://eduscol.education.fr/pid34197/enseignements-pratiques-interdisciplinaires.html>

 À voir sur le webmagazine
Vidéos : des élèves restituent leurs travaux.



Le radon émane des strates granitiques (ici, Chaudes-Aigues).



Deux élèves de 3^e au collège Louis-Pasteur de Chaudes-Aigues présentent le Canary et le kit radon.



Rodolphe Mathieu, Morgane Lerat (professeurs) et Michelle Crochot (provisseure) du collège de Pierrefort, ont lancé ce projet.

2 Quelles sont les actions les plus marquantes ?

Des initiatives ambitieuses sont entreprises début 2017 dans les classes de 3^e de deux établissements scolaires du Cantal : le collège Louis-Pasteur de Chaudes-Aigues et le collège des Gorges-de-la-Truyère, à Pierrefort. Ce projet de sciences participatives

est porté par un collectif d'enseignants de plusieurs disciplines, à l'initiative de Rodolphe Mathieu, enseignant de sciences de la vie et de la terre (SVT). Ensemble, ils souhaitent sensibiliser les proches des élèves et, plus largement, la population de ces deux agglomérations.

3 Que mesurent les élèves ?

L'IRSN met une dizaine de capteurs Canary à disposition des deux collèges. Ces équipements mesurent le taux de radon dans l'atmosphère ambiante. Chaque élève a installé un appareil chez lui pendant trois jours. La radioactivité moyenne présente dans l'air ambiant en France est d'environ 70 Bq/m³. Les résultats des collégiens confirment qu'il y a une proportion plus importante

de valeurs élevées en Auvergne que sur l'ensemble du territoire. Lorsque des valeurs très fortes sont trouvées, l'IRSN propose d'accompagner les familles. Dès 300 Bq/m³, il est recommandé d'aérer davantage les habitations pour faire circuler l'air et évacuer le radon. Au-delà de 1 000 Bq/m³, des travaux d'étanchéité de la cave ou d'amélioration de la ventilation doivent être envisagés.



Le Canary mesure le radon quotidiennement et sur sept jours. Le kit radon intègre la moyenne de la mesure sur deux mois.



4 Quelle est l'influence de la météo ?

La météo et notamment la pression atmosphérique ont une influence directe sur la présence de radon dans l'air ambiant. C'est pourquoi il est important que chaque élève procède à des mesures échelonnées sur plusieurs jours. Lorsque la pression atmosphérique est élevée, la concentration de ce gaz est généralement plus faible. À l'inverse, une dépression s'accompagne le plus souvent d'une concentration de radon plus importante. Les évaluations effectuées par les collégiens, corrélées avec les calculs de pression atmosphérique de la station météo locale, l'ont bien mis en évidence. Les mesures ont également confirmé le lien entre la radioactivité et la nature géologique du sol, relevée sur les cartes du BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières).

www Pour en savoir plus

www.ac-clermont.fr
www.irsn.fr/questions-radon#1
 Repères n°28, dossier sur le radon

Reportage photo : © Céline Leilache / Médiathèque IRSN



Dans cette chorégraphie, les élèves représentent la désintégration de l'uranium.

5 Comment les élèves restituent-ils leurs travaux ?

Les élèves présentent leurs résultats devant leurs familles, des responsables locaux et les services du département, les 6 et 8 juin 2017, dans chacun des collèges. Ils s'appuient sur des diaporamas, des animations. Plus surprenant, ils imaginent une chorégraphie illustrant l'agitation des nucléons dans l'atome d'uranium et le dégagement d'une particule alpha.

Plusieurs élèves présentent leurs travaux dans le cadre de l'épreuve orale du brevet des collèges. Les professeurs investis dans ces EPI souhaitent renouveler l'initiative l'année prochaine. L'inspection académique a l'intention d'organiser une nouvelle formation à la rentrée pour initier d'autres enseignants et multiplier ce type d'opérations.

Vétérinaire équin

Une culture de la radioprotection

Au Cirale¹, le centre d'imagerie équine de l'École nationale vétérinaire d'Alfort, étudiants et professionnels ont fait de la radioprotection un véritable automatisme.

Au cœur du pays d'Auge (Calvados), bordés de prairies, les bâtiments en bois du Cirale sentent l'écurie. Tandis qu'un sulky s'éloigne, tracté par un trotteur, quelques soigneurs observent sur une piste le pas d'un jeune cheval de course. Dans une pièce attenante à la salle de radiographie, des étudiants écoutent attentivement un enseignant vétérinaire qui analyse la radiographie d'un pied de jument. Parmi eux, Valentin Hérout, qui termine son année d'internat au Cirale. Le jeune homme, diplômé de l'École vétérinaire de Nantes, a suivi une formation de personne compétente en radioprotection (PCR) niveau 2. *"Sans équipement de radiographie, un vétérinaire ne peut pas travailler dans la filière équine. Tous ont au moins un générateur portable"*, explique-t-il.

Depuis 2009, la formation à la radioprotection est intégrée, sous forme d'option, en formation initiale. Vétérinaire, experte en radioprotection et formatrice PCR, Catherine Roy a contribué à cette prise de conscience et à la généralisation des bonnes pratiques. *"Les professionnels sont souvent à côté de l'animal lorsque celui-ci est exposé aux rayons. Cela les rend très attentifs aux questions de radioprotection"*, souligne-t-elle.

Tablier de plomb et dosimètre

Un vétérinaire tient par le licol une jeune jument trotteuse pendant sa scintigraphie des membres antérieurs pour la maintenir bien placée. Sa présence rassure l'animal. Pendant ce temps, en salle radio, Olga, une jument de neuf ans et de 600 kilos prend placidement la pose. Deux internes, supervisés par Catherine Roy et le professeur Fabrice Audigié, directeur du Cirale, s'abritent tour à tour derrière des paravents plombés tout en maintenant la cassette sur la zone à examiner : pied, boulet, dos. Les gestes sont précis, les superviseurs

sont attentifs à chaque détail. *"Contrairement à vos dosimètres passifs, à lecture différée, vos dosimètres opérationnels sont des alertes immédiates qui vous renseignent sur le respect des protocoles"*, précise Catherine Roy. Fabrice Audigié insiste de son côté pour que le chaton² du dosimètre-bague de l'IRSN, que portent les manipulateurs, soit orienté du côté du rayonnement.

Acquérir les réflexes

Alors qu'Olga regagne son box, la formatrice PCR fait une démonstration aux internes avec un générateur portable, l'équipement dont disposent tous les vétérinaires équins. Un bidon d'eau a remplacé le cheval et elle mesure, pour chaque tir radio, les doses reçues à la cassette ou derrière l'émetteur. Conclusion : la dose, environ 1,5 microsievert, est la même devant ou derrière l'appareil. *"Les réflexes de radioprotection que nous acquérons ici nous permettent aussi de protéger nos clients"*, conclut Valentin Hérout. À l'issue de son internat, le jeune vétérinaire va intégrer une clinique. Il entend bien y poursuivre ses missions de radioprotection. ■

1. Centre d'imagerie et de recherche sur les affections locomotrices équines.

2. En février, le chaton désigne la partie supérieure centrale de la bague qui accueille pierre, inscription, ou ici dosimètre.



DIAPORAMAS
Retrouvez tous les reportages !



La préparation de la scintigraphie

www.irsn.fr/35



L'étudiant vétérinaire en formation

www.irsn.fr/35



© Dr Catherine Roy

Compétents en radioprotection

Sous l'impulsion de l'Ordre des vétérinaires et du syndicat professionnel, des cours en radioprotection sont dispensés, depuis 2009, dans les écoles. 8 740 élèves ont été formés depuis 2005. Aujourd'hui 80 % des vétérinaires sont PCR et plus de 20 000 portent des dosimètres (contre 4000 en 2002).



Pour réaliser une radiographie du pied, on surélève légèrement celui-ci, et on maintient le cheval en position en lui repliant l'antérieur opposé. Le professeur, Fabrice Audigé pointe l'endroit précis du centrage de la radiographie. Une suspension plafonnrière permet au bras articulé (à gauche, non visible à l'image) portant le tube radio de descendre à ras-de-terre.



Signalétique et poubelle utiles en scintigraphie

Omniprésente au Cirale, la signalétique indique clairement les zones potentiellement radioactives. Ici, les portes d'accès au laboratoire chaud où sont générées les sources utilisées pour la scintigraphie ainsi que la poubelle destinée au matériel contaminé. Au mur, une affiche détaille l'activité scintigraphique normale du squelette du cheval adulte.



Formation

Dans la salle de radiographie, Catherine Roy explique aux internes comment utiliser un générateur portable. Un bidon d'eau remplace ici le cheval. Elle indique où et à quelle distance doivent se placer les personnes présentes lors des tirs radio.



Contrôle radio de la main

À la fin de l'examen scintigraphique, il faut s'assurer de l'absence de contamination au niveau des mains avec un compteur Geiger. Les opérateurs portent tous un dosimètre passif ainsi que leur dosimètre opérationnel.



Mise en place du tablier de plomb

Lors d'une scintigraphie, les opérateurs revêtent le cheval d'un tablier de plomb afin de limiter la dose émise par l'animal, devenu source radioactive. Chaque fois que c'est possible, ils se placent derrière un paravent plombé, comme la personne près de la tête du cheval (à gauche).

© Reportage photo : Florence Levillain/Signatures/Médiathèque IRSN



Maîtrisez le risque incendie

Vous souhaitez réaliser des expérimentations ou des recherches portant sur la maîtrise des risques d'incendie dans des installations industrielles ? Le Laboratoire d'expérimentation des feux (LEF) vous propose plusieurs plateformes d'essai. Regroupées sous le nom de "Galaxie", elles sont situées à Cadarache (Bouches du Rhône). Elles permettent, de par leur diversité, d'étudier des feux de différentes natures dans de multiples configurations. L'installation Diva est dédiée à la réalisation de feux dans des conditions représentatives d'installations industrielles. D'autres dispositifs simulent des feux dans un environnement sous-oxygéné (Caducée) ou en atmosphère libre de foyers (Saturne).



Pour en savoir plus

Laboratoire d'expérimentation
des feux (LEF)
Tel : +33 (0)4 42 19 92 20
Contact : william.le-saux@irsn.fr

