

REPERES

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

EN PRATIQUE

Comment gérer
les risques liés
à l'extravasation ?

DOSSIER

Comprimés d'iode Des avancées pour protéger la population



REPORTAGE

Au ZooParc de Beauval,
les animaux passent à la radio





Iter et le risque d'explosion : à lire dans Aktis n° 32

Au sommaire de ce numéro, un focus sur la clé du risque d'explosion dans le réacteur Iter, le comportement des poussières dans le tokamak. Sont également abordés l'amélioration continue des outils d'évaluation des risques à Fukushima, les effets métaboliques, transcriptomiques et épigénétiques de l'uranium à forte dose et la contribution du brouillard aux retombées radioactives. Éditée par l'IRSN, *Aktis* est une lettre d'information dédiée aux recherches menées par l'Institut.

www.irsn.fr/aktis32

Agenda

18 et 19 janvier 2020

Nice (Alpes-Maritimes)

Journées francophones du scanner

Organisées par l'Association française du personnel paramédical d'électrocardiologie (AFPPE), ces journées sont dédiées aux manipulateurs d'électroradiologie spécialisés en scanner. Elles se tiendront au palais des congrès et des expositions de Nice Acropolis. L'IRSN tiendra un stand et présentera son offre de services pour la surveillance dosimétrique des travailleurs exposés.

Plus d'information : <http://www.afppe.com/key4register/?e=199>



Podcast : Tokai-Mura, 20 ans après

Un accident de criticité est survenu le 30 septembre 1999 dans une usine de traitement d'uranium à Tokai-Mura, au Japon. Vingt ans plus tard, Veronique Rouyer, ancienne directrice de recherche en sûreté nucléaire à l'IRSN, revient sur les circonstances de l'accident, ses conséquences et les enseignements pour améliorer la sûreté.

www.irsn.fr/Tokai-Mura



Vidéo sur les visites décennales

L'IRSN a rendu un avis sur la conformité des réacteurs de 900 MWe d'EDF. Cet avis est lié au réexamen de sûreté réalisé à l'occasion des quatrièmes visites décennales (VD4).

19 mars 2020

Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine)

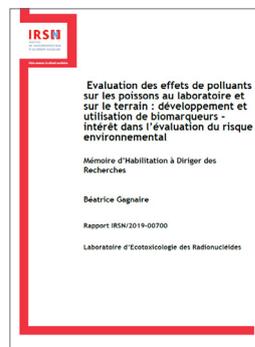
Une rencontre consacrée aux intercomparaisons

Un séminaire sur le thème des essais de comparaison interlaboratoires menés par l'IRSN est organisé à l'intention des laboratoires français ou étrangers en charge de la surveillance de la radioactivité dans l'environnement. Un retour d'expérience et un bilan des résultats recueillis par les participants sur les quinze dernières années sera présenté. Ils pourront échanger sur leur expérience, leurs connaissances, leurs pratiques de mesure et les difficultés rencontrées.

Plus d'information : <https://cilei.irsn.fr>

Dans une vidéo, les experts expliquent leurs travaux et la prise en compte des attentes de la société civile.

www.irsn.fr/Dialogue-ANCCLI-IRSN



Soutenance de Béatrice Gagnaire

Béatrice Gagnaire, spécialiste en ecotoxicologie des radionucléides, a récemment soutenu son habilitation à diriger des recherches. Elle a porté sur l'évaluation du risque environnemental lié aux polluants radioactifs, le développement de biomarqueurs d'exposition et d'effets chez les poissons, la compréhension des liens entre la dose et les effets, et l'étude des modes d'action des polluants à différents niveaux d'organisation biologique.

www.irsn.fr/HDR-Gagnaire

26 et 27 mars 2020

Lyon (Rhône)

Journées techniques sur la radioprotection

Retrouvez les spécialistes des laboratoires de dosimétrie sur le stand de l'IRSN à l'occasion des 4^{es} journées techniques de Radioprotection Cirkus. Au programme de cette édition ; des conférences, des échanges et des animations sur le thème de la radioprotection et de la veille réglementaire. Vous pourrez vous informer sur les activités des laboratoires et sur les services pour la surveillance dosimétrique des travailleurs exposés.

Plus d'information : <https://www.rpcirkus.org/fr/333-4emes-journees-techniques-assemblage-en-cours>

On line WEBMAG

www.irsn.fr/R44



Baromètre

Quelle perception des Français vis-à-vis du nucléaire ?



Dossier

Miodose : un nouveau logiciel optimise la surveillance des travailleurs



Reportage

Une radio de tortue à la clinique et d'une otarie dans son enclos

Abonnement

POUR VOUS ABONNER :
www.irsn.fr

Rubrique l'IRSN > Publications
> Magazine Repères

Sommaire

En couverture : Fabriqués par la Pharmacie centrale des armées, les comprimés d'iode stable se présentent en tablettes de 10 comprimés sécables, à administrer par voie orale.

P.4 TEMPS FORTS

Retombées radioactives

Mieux estimer l'impact du brouillard en cas d'accident

Radiothérapie de la sphère ORL

Prévenir les effets secondaires au niveau des os de la mâchoire

P.6 FAITS ET PERSPECTIVES

Soudures des tuyauteries de vapeur de l'EPR

Garantir la confiance par la qualité de réalisation

P.9 ZOOM

Des gaines poussées à la rupture

© Florence Levillain/Signatures/Médiathèque IRSN



Une protection plus efficace

Une nouvelle campagne de distribution de comprimés d'iode stable démarrée en septembre concerne plus de 2 millions de personnes en France. En cas de rejets d'iode radioactif, cette mesure de protection réduit la probabilité de survenue de cancers de la thyroïde, en particulier chez l'enfant. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) pointe la nécessité de capitaliser des connaissances pour les situations d'exposition particulières, notamment celles des expositions répétées – comme cela a été le cas à Fukushima –, afin d'élargir le spectre d'utilisation de l'iode stable. En France, le programme Priodac a déterminé de nouvelles modalités d'administration sans modifier le conditionnement de l'antidote. Le dossier de ce numéro de *Repères* décrit les bénéfices de ces travaux et la surveillance épidémiologique adoptée après Fukushima. Dans ces situations d'urgence radiologique et nucléaire, la population peut être exposée à d'autres radionucléides. L'Agence internationale pour l'énergie atomique (AIEA) a fait le bilan des antidotes disponibles. Des progrès sont encore nécessaires pour disposer de médicaments à l'efficacité irréprochable. Seuls des consortiums de recherche multi-institutionnels comme Priodac permettent des avancées significatives et rapides.

Marc Benderitter

Expert en radiopathologie

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

DOSSIER

P.10

Dossier du prochain n°:

Comment maîtriser les risques du transport de matières radioactives ?

Comprimés d'iode
Des avancées pour protéger la population

P.17 EN PRATIQUE

Contamination lors d'une injection

Comment gérer les risques liés à l'extravasation ?

P.20 INTÉRÊT PUBLIC

Risque radon : une journée pour mieux comprendre



P.22 REPORTAGE

ZooParc de Beauval

Les animaux passent à la radio

REPÈRES – Éditeur : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire - Membre d'ETSON – 31, avenue de la Division-Leclerc, 92260 Fontenay-aux-Roses – Tél. : 01 58 35 88 88 – Site Internet : www.irsn.fr – Courriel : repères@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, Aleth Delattre, Pascale Monti – Comité de lecture : François Bréchignac, Louis-Michel Guillaume – Rédaction et réalisation : CITIZENPRESS – Maquette et direction artistique : Vincent Dulau – Iconographie : Sophie Léonard – Photos de couverture : © Célia Goumard/Médiathèque IRSN – Impression : Handiprint (50) – Imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement – ISSN : 2103-3811 et 2491-8776 (Web) – octobre 2019.

Contrôles radiologiques

Une meilleure détection de la contamination

Les contrôles radiologiques de personnes et d'objets dans les centrales, par des portiques fixes, sont-ils satisfaisants ? Évitent-ils la dispersion d'une contamination à l'intérieur et hors du site ?

À l'issue de deux années d'étude, les experts préconisent¹ une analyse de la détection de la contamination diffuse, une vérification de certains seuils d'alarme et une amélioration des procédures en cas de défaillance.

À l'origine de cette expertise : deux événements par an de contamination cutanée du personnel entre 2012 et 2015 – avec dépassement du quart de la limite réglementaire –, et des difficultés de l'exploitant dans la mise en œuvre des portiques C2 de nouvelle génération. Ces derniers détectent des rayonnements bêta et gamma à des valeurs très basses mais sont sensibles aux fluctuations du bruit de fond radiologique, qui perturbent le déclenchement des alarmes.

1. <https://www.irsn.fr/Avis-2018-328>



CONTACT

Patrick Jolivet :
patrick.jolivet@irsn.fr

IODE RADIOACTIF

800 mesures

de contamination à la thyroïde peuvent être réalisées en 10 heures par les quatre véhicules légers de l'IRSN.

7 jours

C'est la durée pendant laquelle il est possible d'être protégé par la prise régulière d'iode stable.

Retrouvez notre dossier Iode en page 10.

Environnement



Centrale de Trillo en Espagne. Le brouillard est une accumulation de fines gouttes d'eau en suspension dans l'air. On parle de brume lorsque la visibilité reste supérieure à un kilomètre.

Retombées radioactives

Mieux estimer l'impact du brouillard en cas d'accident

Faut-il prendre en compte la présence de brouillards pour évaluer la contamination de l'environnement en cas d'accident nucléaire ? Des chercheurs en environnement de l'Institut apportent des réponses à cette question.

Pour des besoins de refroidissement, les réacteurs nucléaires sont situés à proximité de cours d'eau ou de la mer. Cela constitue une source d'humidité pour l'atmosphère. À l'automne, la baisse de la température entraîne la condensation de la vapeur d'eau en excès dans l'air sous la forme de gouttelettes. Elles sédimentent ensuite sur les végétaux.

« En automne et en hiver, ce phénomène météorologique conduit à un dépôt des aérosols plus important – de 15 à 20 % supplémentaires par rapport à celui observé par temps sec – et plus rapide », explique Olivier Masson, expert en transferts atmosphériques.

La présence de brouillard doit être prise en compte pour mieux quantifier les retombées radioactives en cas d'accident. Cette donnée sera intégrée aux modèles de dispersion atmosphérique utilisés par l'Institut.

« Les concentrations en radionucléides dans

les gouttelettes sont jusqu'à 20 fois supérieures à celles des gouttes de pluie », précise l'expert. Pour réaliser ces mesures, les chercheurs récoltent de l'eau de brouillard à l'aide de collecteurs, afin de les analyser par spectrométrie gamma. En parallèle, ils pèsent la quantité d'eau déposée sur les végétaux en fonction de la surface foliaire et de la turbulence atmosphérique. Le temps de contact des végétaux avec les gouttelettes – plus important qu'avec des gouttes de pluie – favorise le transfert foliaire.

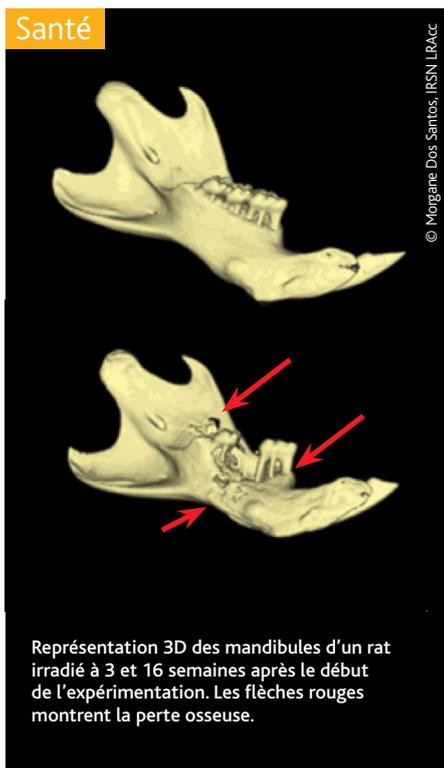
Un module spécifique au brouillard permettra d'affiner la modélisation du dépôt des radionucléides. « Appliqué à l'accident de Fukushima, il pourrait expliquer le niveau de contamination mesuré dans les montagnes des préfectures de Tochigi et Gunma¹ », précise Arnaud Quérel, expert en dispersion atmosphérique à l'IRSN.

1. Situées au sud de la préfecture de Fukushima.



Pour en savoir plus :
Thèse de Jackie Tav (2017) sur l'influence du brouillard sur le dépôt de radionucléides
www.irsn.fr/These-Tav

Santé



© Morgane Dos Santos, IRSN IIRAC

Représentation 3D des mandibules d'un rat irradié à 3 et 16 semaines après le début de l'expérimentation. Les flèches rouges montrent la perte osseuse.

Radiothérapie de la sphère ORL Prévenir les effets secondaires au niveau des os de la mâchoire

Les médecins utilisent le terme d'ostéoradionécrose mandibulaire. Pour certains patients traités pour un cancer de la sphère ORL¹, il s'agit d'une nécrose des os de la mâchoire. Un effet secondaire grave consécutif à une radiothérapie.

Comment apparaît-elle? Comment la prévenir et la traiter? Pour l'étudier, les chercheurs de l'Institut se sont dotés d'un microscanner.

« Cet équipement peu irradiant est adapté à l'étude in vivo du petit animal, décrit Morgane Dos Santos, responsable de la plateforme préclinique. Grâce à l'acquisition d'images haute résolution, nous évaluons et mesurons les lésions induites par l'irradiation au niveau osseux sur des souris et des rats vivants. »

Pour Noëlle Mathieu, chercheuse en biologie, « le microscanner permet une étude au cours du temps et selon la dose ». Il offre la possibilité de suivre les modifications apparues au niveau du réseau vasculaire des mandibules *ex vivo*.

L'équipement servira à évaluer le bénéfice de la thérapie cellulaire dans la réparation des lésions.

1. 5 % des patients traités pour un carcinome – quatrième cancer le plus fréquent chez l'homme – développent cet effet secondaire.

CONTACT

Morgane Dos Santos :
morgane.dossantos@irsn.fr

Perception des risques

Baromètre annuel

Les Français sont attentifs aux risques liés aux centrales

Une radiographie de la perception des risques et de la sécurité par les Français : voilà ce que réalise le Baromètre édité chaque année par l'Institut. L'enquête¹ est menée auprès d'un échantillon de plus de 1 000 personnes, représentatif de la population.

Dans l'édition 2019, les sondés classent en tête des situations les plus à risque le cancer, le terrorisme et les pesticides.

Les trois situations dont les niveaux de risque sont jugés les plus faibles sont liées à la radioactivité : les accidents de radiothérapie, les radiographies médicales et le radon dans les habitations.

Concernant le nucléaire, les Français sont à la fois confiants dans la sûreté des centrales et préoccupés par le risque d'accident. Selon eux, Tchernobyl et Fukushima sont les événements ca-

tastrophiques les plus effrayants. Près de 60 % des interrogés expriment leur crainte vis-à-vis de l'impact des installations sur la santé et l'environnement.

Comme les années précédentes, les organismes scientifiques, experts et exploitants sont majoritairement perçus comme compétents.

1. Cette 29^e édition du baromètre se base sur des entretiens réalisés en automne 2018.

WWW Pour en savoir plus :
<https://barometre.irsn.fr/>

WEBMAGAZINE



VIDÉO
Quelle perception
des Français vis-à-vis
du nucléaire ?

www.irsn.fr/R44

Sûreté nucléaire

Harmonisation de la démarche

L'évaluation de sûreté des installations nucléaires doit prendre en compte les aspects techniques, humains et organisationnels. Elle doit être l'occasion d'un dialogue avec la société civile.

Ces deux principes sont développés dans la nouvelle version du guide d'évaluation de sûreté¹ des installations nucléaires du réseau Etson².

L'objectif de ce document est de renforcer l'harmonisation des méthodes au sein du réseau et de disposer d'un cadre de référence cohérent.

« Cela demande de faire évoluer les approches, en s'appuyant sur le management des connaissances, explique Jean-Michel Evrard, spécialiste des démarches de sûreté à l'IRSN. Le dialogue avec la société civile est nécessaire : les citoyens attendent plus d'informations sur les risques, et l'expertise se nourrit de leurs questionnements. »

1. Safety Assessment Guide (SAG).

2. Réseau regroupant 17 organismes de sûreté en Europe et dans le monde.

WWW Pour en savoir plus :
<http://www.etsn.eu/reports-and-publications>

FAITS ET PERSPECTIVES



EPR de Flamanville (Manche).

© EDF - Alexis Morin



Travaux de soudure sur le circuit secondaire principal de l'EPR de Flamanville.

© EDF - Alexis Morin

Soudures des tuyauteries de vapeur de l'EPR

Garantir la confiance par la qualité de réalisation

Faut-il refaire les soudures des tuyauteries de vapeur principales du réacteur EPR de Flamanville (Manche) sur lesquelles de nombreuses non-conformités ont été constatées ? Après analyse du dossier de l'exploitant, participation à l'instruction technique et aux inspections de terrain, les experts en métallurgie et contrôle non destructif se positionnent sur la question.

"Plutôt que rechercher à justifier une acceptabilité en l'état, EDF devrait procéder à la remise en conformité des soudures concernées. » Sur ces quelques lignes s'achève l'avis du 22 mars 2019 de l'IRSN et le travail de ses experts sur le dossier

très médiatisé des soudures de l'EPR. Le 11 avril, ils sont suivis dans leurs conclusions par le groupe permanent « Équipements sous pression nucléaires » de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Le 19 juin, l'ASN demande à l'exploitant de réparer

les huit soudures des tuyauteries de vapeur principales situées au droit des traversées de l'enceinte de confinement du bâtiment du réacteur avant sa mise en service (cf. infographie).

Des performances en deçà du cahier des charges

Pour l'Institut, ce dossier démarre en octobre 2017. Au cours d'une réunion, EDF présente un écart détecté sur les soixante-six soudures des tuyauteries de vapeur principales (VVP¹) du circuit secondaire (cf. infographie). Longues de quelques dizaines de mètres, ces tuyauteries convoient la vapeur des générateurs à la turbine, en traversant l'enceinte de confinement.

Les essais pratiqués par Framatome et ses sous-traitants lors de la fabrication montrent une capacité de résistance à la rupture de ces soudures moins élevée que celle spécifiée dans le cahier des charges. La cause est identifiée : elle est liée au



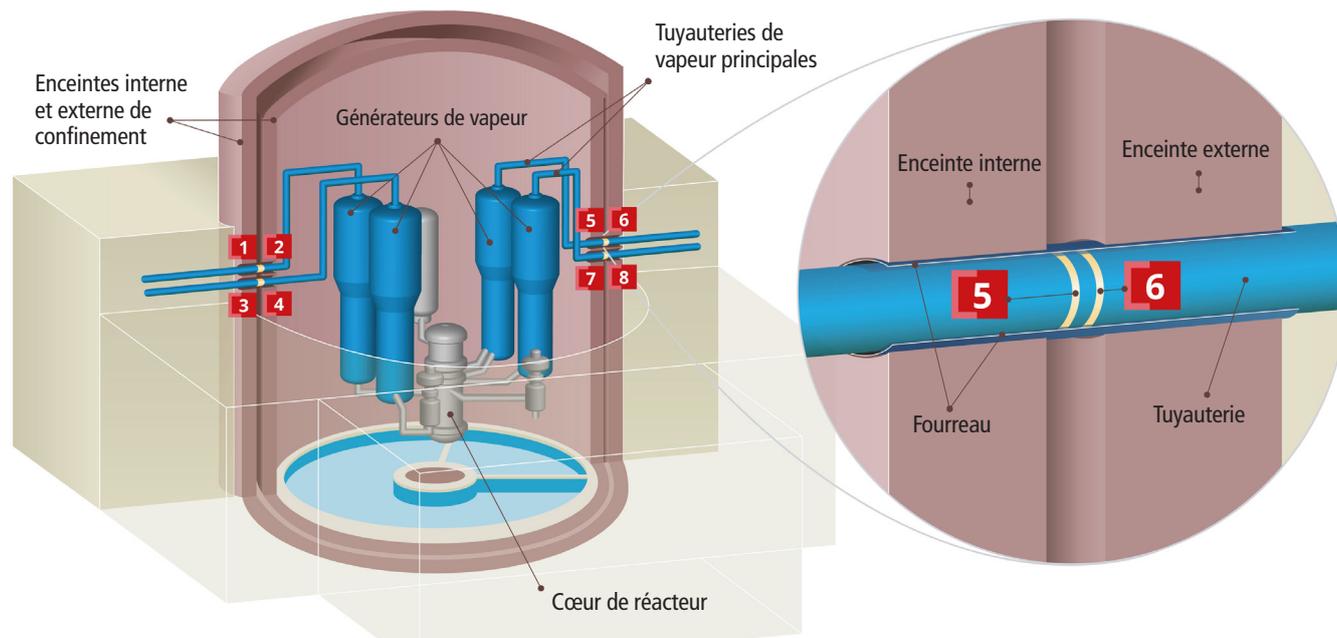
Contrôle par ultrasons d'une soudure du circuit secondaire principal de l'EPR de Flamanville.

© EDF - Alexis Morin

PROCESS

EPR de Flamanville : les anomalies de réalisation des soudures

Le problème de soudures concerne les tuyauteries principales d'évacuation de la vapeur du circuit secondaires de l'EPR. Elles traversent l'enceinte de confinement, composée de deux parois. Huit soudures de traversée d'enceinte sont localisées au niveau de tuyauteries situées entre les deux parois.



■ Soudures de traversée d'enceinte numérotées de 1 à 8

Les tuyauteries de vapeur principales (VVP), en exclusion de rupture, comportent 66 soudures, dont 8 au niveau de la double enceinte de confinement du réacteur. Ces soudures présentent des écarts de réalisation.

© Romain Grimaldi/Médiathèque IRSN

choix du métal d'apport utilisé pour leur réalisation. L'exploitant propose de réaliser des essais sur maquette et d'expertiser une soudure jugée représentative pour justifier l'acceptabilité de celles du circuit VVP.

L'exclusion de rupture : une démarche plus stricte

Pour les experts, le problème ne peut être traité aussi facilement. Ces tuyauteries et leurs soudures sont en « exclusion de rupture ». Il s'agit d'une démarche qui assure – par la mise en œuvre de dispositions à la conception, fabrication et exploitation – qu'une rupture de tuyauterie est suffisamment improbable pour qu'elle puisse ne pas être étudiée. Cet événement est dit « exclu ». L'objectif de la justification de l'exclusion est d'apporter la garantie du maintien de l'intégrité des tuyauteries pendant la durée de vie de l'installation. Cela nécessite un haut niveau de qualité de réalisation. Usuellement, cette démarche ne s'applique qu'aux gros

équipements des réacteurs, dont la cuve, les générateurs de vapeur, le pressuriseur et les volutes des pompes primaires.

Pour l'EPR de Flamanville, l'électricien a proposé à l'ASN que l'exigence d'exclusion de rupture soit aussi appliquée aux tuyauteries de vapeur principales. C'est une première en France. Ce choix conduit à ne pas installer de dispositifs qui limiteraient les conséquences d'une rupture de tuyauteries. « EDF ne prévoyait pas de renoncer à la démarche d'exclusion de rupture mais ne respectait pas les exigences qu'il avait retenues pour la justifier, explique Olivier Loiseau, responsable du service en charge du dossier à l'Institut. Or ces exigences ont été acceptées par l'Autorité de longue date. Ce revirement méritait un examen approfondi. »

Revenir aux règles de l'art

L'IRSN mobilise trois personnes à temps plein pour réaliser une expertise approfondie du dossier. Bernard Monnot et Julie

Krochmaluk, spécialistes en métallurgie, réalisent un important travail documentaire.

En février 2018, Julie Krochmaluk passe deux jours à Flamanville lors d'une inspection pour participer à un examen approfondi des spécifications d'approvisionnement, fiches d'écart et fiches de contrôle. « En retraçant l'historique de la fabrication, on s'aperçoit que des écarts apparaissent dès 2013, souligne-t-elle. Le fabricant n'indique pas aux sous-traitants les spécifications liées à l'exclusion de rupture. Des produits d'apport différents de ceux utilisés lors de la construction du parc électronucléaire EDF sont retenus, alors qu'ils ne respectent pas l'ensemble des exigences du référentiel de construction (RCC-M). Ces écarts ne donnent pas lieu à une remise en cause des options techniques retenues. » L'Institut rend un avis en avril 2018. Il pointe les insuffisances du système de surveillance. Il souligne le manque de rigueur des prestataires, mettant en cause la culture de sûreté.



De la conception à la mise en service de l'EPR, l'IRSN intervient à chaque étape du chantier de Flamanville.

© Alexis Morin/Médiathèque IRSN

Spécialiste des contrôles par ultrasons à l'IRSN, Lili Ducouso-Ganjehi se rend à Flamanville à l'occasion d'une inspection portant sur la bonne mise en œuvre des contrôles des soudures du circuit VVP. Elle va ensuite à la direction industrielle d'EDF, à Saint-Denis, afin de consulter les enregistrements de ces contrôles et d'échanger avec ses spécialistes. Ces contrôles ont mis au jour un défaut de fabrication sur une des huit soudures situées au droit de la traversée de l'enceinte de confinement. L'exploitant souhaite justifier l'acceptation de ce défaut en l'état. En décembre 2018, il propose de refaire les soudures en exclusion de rupture non conformes aux exigences définies, à l'exception des huit soudures précitées. Cela est remis en cause par l'IRSN dans son avis du 22 mars 2019.

« Il était temps de revenir aux règles de l'art : ces soudures ont été mal réalisées. Des essais sur de nouvelles maquettes de soudures, forcément un peu différentes de celles en place, ne prouvaient rien quant à leur qualité. Et la difficulté d'en réparer huit ne justifie pas de les laisser en l'état », conclut Olivier Loiseau.

Concernant ces huit soudures, l'exploitant s'est engagé à soumettre à l'ASN les solutions techniques qu'il envisage pour les refaire. L'Institut expertisera les dossiers correspondants. ■

1. Vapeur vive principale.

WWW Pour en savoir plus : www.irsn.fr/Avis-2019-057

www.asn.fr/Informations/Actualites/EPR-de-Flamanville-les-huit-soudures-de-traversee-devront-etre-reparees

www.senat.fr/fileadmin/Fichiers/Images/opecest/quatre_pages/OPECST_2019_0066_note_preparatoire_audition_EPR_17juill19.pdf

Quels enseignements tirez-vous de ce dossier ?

Comme précédemment pour la cuve du réacteur, je constate une perte de maîtrise de la chaîne opérationnelle censée garantir une qualité des installations conforme aux engagements pris. Plus grave encore, ces écarts semblent vécus par leurs responsables comme des entorses à la réglementation, et non à la sûreté. Or il est plus difficile de changer de culture que d'organisation...

1. Agence d'information et d'études sur l'énergie, qui fait partie du mouvement antinucléaire.

© B. Runtz



3 questions à...

Yves Marniac

Directeur de WISE Paris¹

Comment prévenir les défaillances ?

Le meilleur moyen est de renforcer l'obligation d'information pesant sur chaque responsable pour placer l'évolution des dossiers sous le regard vigilant des experts indépendants et de la société civile. Pour que cette obligation soit effective, il faut des sanctions. Notre droit le permet sans grande innovation. Les entreprises mettraient rapidement leurs processus de contrôle à niveau. Il faut enfin que les autorités rendent publics les éléments techniques dès qu'ils leur sont transmis,

sans attendre de les examiner. La « transparence » doit devenir un puissant levier de gouvernance de la sûreté.

Comment traiter le problème ?

Par une bonne stratégie de remédiation. Son examen ne doit pas être confisqué par les experts. L'exploitant doit soumettre les options de réparation envisagées à la société civile, jusque dans leur détail. Pressé par la nécessité d'aboutir, il pourrait négliger certaines difficultés et s'engager dans une impasse. Pour l'éviter, mieux vaut croiser les points de vue.



L'EPR finlandais fait partie de la centrale nucléaire d'Olkiluoto située sur une île à l'ouest du pays.

© TVO

AILLEURS

Une démarche différente en Finlande

Les EPR français et finlandais sont de conception proche. Mais il ne s'agit pas de copies conformes. L'EPR finlandais prend en compte la plupart des conséquences de la rupture brutale d'une tuyauterie de vapeur principale. Ses tuyauteries sont équipées de dispositifs anti-fouettement, qui les empêchent de heurter violemment les équipements voisins en cas de défaillance. La tenue des bâtiments de sauvegarde, qu'elles traversent après l'enceinte de confinement, est assurée par la présence d'exutoires suffisamment

larges pour évacuer une éventuelle surpression. « Quand le problème est découvert à Flamanville, il n'est plus possible de revenir sur l'hypothèse d'exclusion de rupture en ajoutant des dispositifs de protection », explique Sébastien Israël, expert en sûreté à l'IRSN. L'agencement des installations et la structure des bâtiments ne le permettent pas. »

CONTACT

Sébastien Israël : sebastien.israel@irsn.fr

Des gaines poussées à la rupture

Derrière cette structure ovoïde se cache la première barrière de confinement d'un réacteur à eau sous pression. Prise au microscope optique, cette image représente la section d'une gaine en zirconium. De moins d'un millimètre d'épaisseur, elle renferme le combustible nucléaire, source de chaleur dans les réacteurs.

Pendant près de cinq ans, la face externe de cette enveloppe protectrice est au contact du fluide caloporteur, de l'eau à 350 °C et sous haute pression. Les réactions de corrosion entre le zirconium et l'eau peuvent aboutir à la formation d'hy-

drures. Dans certains cas, l'orientation de ces hydrures dans la gaine est défavorable : on parle d'hydrures radiaux. Ces derniers sont susceptibles de se transformer en fissures, fragilisant la gaine. Les chercheurs du Laboratoire d'expérimentation en mécanique des matériaux (LEMM) font subir un ensemble d'efforts mécaniques à des échantillons de gaine, les conduisant jusqu'à la rupture, comme en atteste cette image. Ils explorent tous les efforts possibles de pression interne et de flexion subis par cette barrière de confinement, en conditions normales ou accidentelles, lors du transport ou de l'entreposage en

Jean Desquines

Chercheur en mécanique des matériaux

piscine du combustible utilisé.

Le LEMM élabore des modèles pour prédire les conditions dans lesquelles se forment les hydrures radiaux et dans lesquelles ils se transforment en fissures. Les experts établissent par exemple des niveaux de température et de pression au-dessous desquels le transport d'un assemblage de combustibles ne présente aucun risque. Les événements exceptionnels comme la chute de colis de transport sont pris en compte. ■



Pour en savoir plus :
www.irsn.fr/R36



Fabriqués par la Pharmacie centrale des armées, les comprimés d'iode stable se présentent en tablettes de 10 comprimés sécables, à administrer par voie orale.

20 km

La campagne 2019 de distribution d'iode s'adresse à des riverains et des responsables d'établissement recevant du public (ERP) résidant dans un rayon de 20 km autour des 19 centrales françaises, au lieu de 10 km en 2016.

Iode radioactif

Les bases scientifiques de la prévention

Depuis les accidents de Tchernobyl et Fukushima, des recherches sont menées pour préciser les risques de contamination par l'iode radioactif. En cas de crise, des niveaux de référence guident l'action des autorités. Grâce à la prise répétée d'iode stable, celles-ci devraient bientôt disposer de nouveaux moyens de protection.

EN CLAIR

Le cycle de l'iode 131 : du rejet à la consommation

L'iode radioactif est rejeté de manière contrôlée par les centrales, les industries radiopharmaceutiques et les hôpitaux en situation normale d'exploitation, sans impact sanitaire. Il est inhalé et ingéré par l'homme et les animaux.

En cas d'accident, lorsque les concentrations sont importantes, il se concentre dans la thyroïde et peut augmenter le risque de cancer. Sa période radioactive est de huit jours, il disparaît en deux mois environ.



© A. Dagnan/Citizen Press/Médiathèque IRSN/Magazine Repères

En 1989, trois ans après l'accident de Tchernobyl, des médecins ukrainiens, russes et biélorusses donnent l'alerte. La fréquence des cancers de la thyroïde augmenterait chez les enfants exposés au nuage radioactif. Dans la communauté scientifique, c'est d'abord la surprise.

L'explosion du réacteur n° 4 a libéré dans l'atmosphère une grande quantité d'iode radioactif (cf. dossier du *Repères* n° 43). Ses effets cancérigènes sur la thyroïde – à la suite de son utilisation en médecine et du bombardement d'Hiroshima – sont déjà connus. Mais deux idées admises sont remises en question : ils mettent au moins dix ans à se manifester, et aucune population n'est plus touchée qu'une autre. En 1992, l'augmentation de la fréquence des cancers de la thyroïde peut être corrélée avec les mesures de contamination au sol. Dans certaines zones, la hausse atteint un facteur 100 par rapport au taux de survenue normal. Plus les enfants sont jeunes, plus ils sont touchés. La stratégie de protection des populations doit être revue.

Optimiser le retour d'expérience

« Pour la caractérisation du risque, il y a un avant et un après Tchernobyl, résume Dominique Laurier, chercheur sur les effets des faibles doses à l'IRSN. Jamais nous n'avions disposé d'autant d'informations. Encore fallait-il les collecter, les conserver et les valoriser, alors que l'Union soviétique était en train de s'effondrer. »

Première urgence : maintenir les registres de cancers tenus par les médecins dans les secteurs contaminés. Ils montrent que la fréquence des cancers de la thyroïde redevient normale chez les enfants nés après la catastrophe. Le risque est donc bien uniquement lié à l'exposition à l'iode radioactif, et apparaît essentiellement chez ceux qui étaient enfants lors de l'accident. La documentation de la catastrophe



Les comprimés d'iode stable sont quadri-sécables pour être plus facilement administrés aux enfants.

© Olivier Seignette/Mikael Lalonde/Médiathèque IRSN



Biopsie de la thyroïde réalisée sous contrôle échographique à la polyclinique de Novozybkov, en Russie, à 280 km de Tchernobyl.

© Noak Le Bar / Orea / Médiathèque IRSN

“ Nous sommes capables d’estimer une contamination pour toutes les classes d’âge.

constitue l’une des missions du Laboratoire d’épidémiologie de l’IRSN. Plus de trente ans après, il continue à enregistrer des cancers de la thyroïde en surnombre dans les populations exposées.

À partir de 2011, l’accident de Fukushima confirme ces enseignements. Mais les données relatives aux moins de 18 ans sont complexes à exploiter. Depuis la catastrophe, une détection systématique par ultrasons des nodules thyroïdiens est réalisée pour 300 000 d’entre eux. Les expositions au Japon sont bien inférieures à celles de Tchernobyl, et pourtant la proportion de dépistages positifs est bien supérieure. « Il y a un surdiagnostic. Il s’explique par la finesse de la technique, qui détecte des nodules de quelques millimètres, explique Dominique Laurier. Plusieurs contre-études sur des populations non exposées montrent que nous sommes nombreux à porter ce type de nodules sans développer de cancer. » C’est pourquoi l’IRSN s’investit dans la réflexion du Centre international de recherche sur le cancer (Circ) sur l’utilisation de cette technique de détection par ultrasons. Son rapport paru en 2018 recommande de ne l’employer qu’au cas par cas.

25 %

C’est l’augmentation de la fréquence des cancers de la thyroïde consécutive à l’accident de Tchernobyl estimée en 2018. Cela représente 5000 cas chez les habitants des territoires contaminés qui avaient moins de 18 ans lors de l’accident.

Source : Comité scientifique des Nations unies pour l’étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR)

L’absence de registres de cancers dans la préfecture de Fukushima explique le choix de ce dépistage systématique sans base de comparaison. En grossissant les chiffres, il a heurté la confiance de la population dans les messages rassurants des autorités.

Mesurer la corrélation entre l’exposition et le risque de développer un cancer est indispensable pour protéger les personnes exposées. « La première étape nécessite de convertir la quantité de radioactivité “instantanée”, mesurée en becquerels, en dose de rayonnements ionisants qui se concentrent sur la thyroïde et perturbent le bon fonctionnement des cellules, explique Éric Blanchardon, expert en dosimétrie interne à l’Institut. Nous déterminons la dose efficace, exprimée en millisieverts. »

Le comportement de l’iode dans le corps est mieux connu

Cette transition dépend d’un grand nombre de paramètres : forme chimique de l’iode (cf. dossier Repères n° 43), absorption par inhalation, ingestion ou contact cutané, comportement de l’iode dans le corps, âge du sujet... « Les chercheurs ont analysé les milliers de cas publiés, poursuit l’expert. Nous connaissons mieux le comportement dans le corps – ou biocinétique – de nombreux radioéléments. Cela permet d’ajuster, dans le modèle dosimétrique, le taux de fixation de l’iode radioactif dans la thyroïde, en fonction de l’apport alimentaire en iode stable. »

L’IRSN utilise des coefficients de dose pour estimer, à partir du nombre de becquerels incorporés, la dose efficace pour chaque radionucléide selon les caractéristiques de l’exposition. Ces coefficients améliorent les modèles de calcul de dose, à partir des rejets dispersés dans l’atmosphère (cf. dossier Repères n° 43). Deuxième étape : passer de la dose à l’effet. Les épidémiologistes planchent aussi sur des cas de contamination documentés, cette fois jusqu’au stade de la maladie.

À LIRE



Miodose : un nouveau logiciel optimise la surveillance des travailleurs
www.irsn.fr/R42

Ces travaux font évoluer la loi française : en cas d'accident sur une installation, celle-ci fixe désormais un niveau de référence de dose efficace de 100 mSv à ne pas dépasser. Des valeurs repères qui guident les décisions des autorités : 50 mSv pour l'évacuation et 10 mSv pour la mise à l'abri. La prise d'iode stable est recommandée dès l'atteinte du niveau repère de 50 mSv équivalent à la thyroïde.

Des cartes utiles en cas de rejets

« En crise et en exercice de crise, nous utilisons ces valeurs pour établir des cartes de prévision, explique Damien Didier, expert en évaluation des conséquences. Elles permettent d'identifier les zones où ces valeurs repères pourraient être dépassées. Le préfet peut décider, par anticipation, des actions de protection. »

Les experts cherchent à enrichir ces cartes, en associant à chaque prévision de dose efficace un indice de confiance intégrant les incertitudes du scénario accidentel et des prévisions météorologiques. Ils participent au projet européen Confidence, qui traite de la problématique des incertitudes : de leur prise en compte dans les évaluations à leur communication vers les décideurs. Il s'agit d'anticiper les réactions de ces derniers. « Ils pourraient sur-réagir et se tromper de priorités. Notre objectif est de leur donner une vision plus complète sur les conséquences possibles pour décider de manière plus appropriée », poursuit-il.

Multiplier les contrôles de routine

En cas de crise, l'IRSN dispose de quatre véhicules légers équipés de système d'anthroporadiométrie pour mesurer la contamination interne des populations dans la zone concernée. Peuvent s'y ajouter deux véhicules lourds d'expertise et l'installation du laboratoire d'anthroporadiométrie du Vésinet (Yvelines).

« Dans ces situations, il faut vite lever les craintes des personnes exposées, souligne Isabelle Vu, experte en moyens mobiles à l'Institut. Une ingénieure-chercheuse a mis au point des étalons de "taille enfant" pour nos systèmes de mesure : nous sommes aujourd'hui capables d'estimer en quelques minutes, et pour toutes les classes d'âge, une contamination interne. » Jugés trop peu sensibles, les véhicules légers sont pour l'instant réservés aux situations de crise. Un protocole de recherche débute avec l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière (Île-de-France) pour vérifier leur performance dans un contexte de surveillance de routine avec des radioéléments de faible énergie. Si les résultats sont positifs, les contrôles en entreprise pourront être multipliés, et avec eux les chances de détecter les contaminations occasionnelles. ■

www Pour en savoir plus :
Thèse sur les étalons « taille enfant » :
www.irsn.fr/these-beaumont

Rapport du CIRC sur l'utilisation des nouveaux outils de dépistage du cancer de la thyroïde :
<http://publications.iarc.fr>

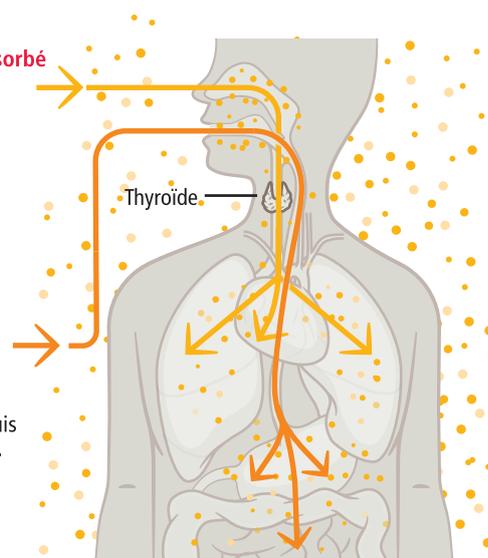
EN CLAIR

Comment protéger la thyroïde avec de l'iode stable ?

Exposée à de l'iode 131 radioactif, la thyroïde ne fait aucune différence avec l'iode 127 stable puisé dans les aliments. Une prise d'iode stable avant exposition peut empêcher la glande de fixer l'élément radioactif, réduisant le risque de cancer.

1 L'iode radioactif est absorbé

L'iode radioactif est **inhalé**. Une partie est **expectorée**, une autre pénètre dans les poumons puis passe dans le sang. Ce passage dépend de sa composition chimique. Sous sa **forme gazeuse**, elle ne rencontre aucune barrière : elle est **absorbée en quasi-totalité** par l'organisme.



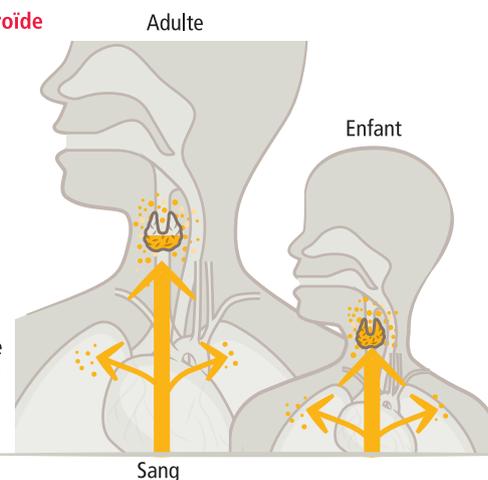
L'iode radioactif est **ingéré**. Il passe la barrière intestinale puis dans le **sang en deux heures**.

2 L'iode se fixe sur la thyroïde

Dans le **sang**, l'iode radioactif est dirigé en **priorité vers la thyroïde** grâce à des **transporteurs spécifiques**.

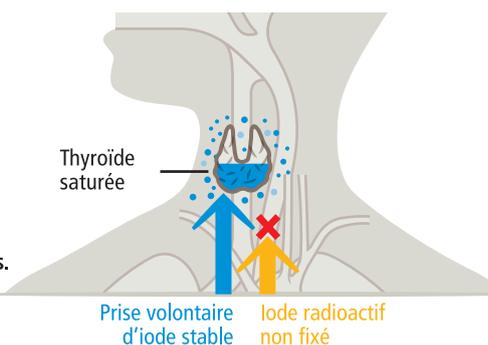
Chez l'adulte, la glande fixe **25 à 30%** de l'iode incorporé. **Chez l'enfant**, elle est **plus petite**. A exposition égale, la **dose délivrée est plus élevée**.

L'iode radioactif séjourne dans la thyroïde et endommage l'**ADN** de ses cellules. Le **risque de cancer** est fonction de la quantité de rayonnement. Il est **accru chez l'enfant**, à partir de **50 mSv**.



3 L'iode stable prévient le risque de cancer

La thyroïde saturée en iode stable se « ferme » par **inactivation des transporteurs** pour 24 à 48 heures. Cette propriété peut être utilisée en cas d'accident nucléaire. Une **prise d'iode stable avant l'exposition assure une protection de la glande pendant au moins 24 heures**. L'iode radioactif est éliminé plus rapidement.



Comprimés d'iode

Des avancées en cas de rejets radioactifs prolongés

En cas de rejets d'iode radioactif à répétition, il est envisagé de protéger la population pendant sept jours grâce à des prises répétées d'iode stable. Ces résultats scientifiques donnent aux autorités une marge de manœuvre accrue en situation de crise.

“*Imaginez une situation de crise comparable à celle de Fukushima : pendant plusieurs jours, des rejets d'iode radioactif dans l'atmosphère se succèdent. Si la population peut être efficacement protégée d'une contamination répétée à l'iode radioactif, alors les autorités disposeront de plus de souplesse dans la gestion des évacuations, notamment pour les individus les plus sensibles. Au final, la sécurité de tous sera mieux assurée.* » En quelques mots, Maamar Souidi, chercheur en santé à l'IRSN, résume l'un des intérêts du projet Priodac⁷.

Jusqu'à sept prises d'iode stable

Le Vidal – dictionnaire précisant la posologie des médicaments – indique que la prise d'iode stable, ou iodure de potassium (KI) pour prévenir la contamination de la thyroïde par de l'iode radioactif ne peut être répétée qu'une seule fois, offrant une durée de protection de 24 à 48 heures.

Grâce aux travaux du programme Priodac, un dossier de variation de l'autorisation de mise sur le marché (AMM) du KI est soumis à l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM). La posologie consisterait en une prise répétée du traitement pendant sept jours, sauf instruction contraire des autorités, pour toutes les catégories de population, hormis les femmes enceintes et allaitant. Une telle modification nécessite des études réglementaires pour démontrer son efficacité et son absence de nocivité.

Dans le projet Priodac, ces études portées par trois thèses sont partagées entre les partenaires du projet. Première étape, des laboratoires de l'Institut associés aux facultés de



Confinement d'une classe de 3^e au collège Félix-Éboué lors de l'exercice national de sûreté nucléaire à la centrale nucléaire de Fessenheim (Haut-Rhin).

médecine de Nice et d'Aix-Marseille mènent les études précliniques pharmacologiques et toxicologiques. Nécessitant des analyses sur des rats, elles sont encadrées par deux structures (cf. encadré p. 15). Toutes les 24 heures pendant sept jours, les animaux reçoivent des quantités croissantes d'iode stable.

Des études spectrométriques, d'imagerie de la thyroïde et des modélisations pharmacocinétiques servent à déterminer la dose de KI optimale pour une protection efficace de la thyroïde et l'absence d'effets secondaires. Cette protection de la glande est validée par des études utilisant des iodures radioactifs.

Cette première phase achevée, la Pharmacie centrale des armées prend le relais et réalise les études de toxicologie. Il s'agit de s'assurer de l'innocuité du traitement pour deux espèces animales différentes, le rat et le chien. « Ces expériences sont conduites sur des modèles expérimentaux simulant les différentes catégories de la population en raison des restrictions d'utilisation du KI chez la femme enceinte ou allaitant, précise Marc Benderritter, responsable du projet. Les travaux de Priodac montrent une sensibilité particulière du fœtus à la prise répétée d'iodure de potassium par la mère. Après la naissance et à l'âge

adulte, des troubles du comportement, notamment en termes de motricité, sont observés. »

Ce travail est réalisé par une doctorante de l'Institut, Dalila Lebsir. Les études se poursuivent afin de préciser une posologie adaptée pour la femme enceinte sans risque pour le fœtus, car la phase du développement embryonnaire du cerveau semble être particulièrement sensible au KI.

La prophylaxie répétée de l'iode stable sur la base de ces nouvelles connaissances est appelée à faire autorité au plan national. En septembre, les experts présentent leurs résultats à la Direction générale de la santé (DGS). « Pour les autorités, cela accroît la marge de manœuvre, note Éric Vial, chargé de mission au Secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale. En cas de prévisions incertaines, une première prise d'iode peut être plus facilement recommandée, sachant que d'autres sont possibles si la situation le nécessite. »

La société civile alerte les pouvoirs publics

La réflexion sur l'organisation de sa distribution ne fait que commencer. Elle tiendra compte des capacités de production de l'antidote, de son stockage et de sa distribution. La doctrine est en cours d'élaboration par la DGS et l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Cela pourrait conduire à une modification des dispositions actuellement en vigueur. La société civile pourrait y être associée. Cette réflexion viendra en complément des campagnes de distribution consécutives à l'élargissement du Plan particulier d'intervention (PPI) de dix à vingt kilomètres (cf. article ci-après). Les acteurs locaux – élus, employés des collectivités territoriales et forces de secours –, en première ligne en situation de crise, entendent participer à la discussion.

« En 2016, lors de la dernière campagne de renouvellement, seules 50 % des personnes concernées sont venues retirer leur iode en pharmacie. Pourquoi en serait-il différemment cette fois-ci ? s'interroge Jean-Pierre Charre, vice-président de la commission locale d'information (CLI) de Marcoule-Gard. La question de la localisation et de la distribution des stocks complémentaires est centrale, surtout s'ils doivent augmenter dans de grandes proportions. » Pour lui, seules les mairies, par leur connaissance de leur territoire et de leurs habitants, peuvent assurer leur information et leur protection.

Pour Jean-Claude Delalonde, président de l'Association nationale des comités et com-

EXPÉRIMENTATION ANIMALE

Priorité au respect de l'éthique



Rat du Laboratoire de radiotoxicologie et radiobiologie expérimentale (LRTOX) de l'IRSN.

© Francesco Acerba/Médiateurque, IRSN

L'action des radioéléments sur l'organisme met en jeu des interactions complexes. Elles ne peuvent pas toutes être recréées via des cultures de tissus ou de cellules ni par simulation informatique. L'IRSN doit réaliser des études sur des animaux vivants, exclusivement rats et souris, hébergés au sein des deux animaleries de Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine). Pour veiller au respect des règles et bonnes pratiques françaises et européennes, l'établissement dispose de deux structures de conseil : une chargée du bien-être animal et un comité d'éthique en expérimentation animale. Cinq de ses vingt membres actuels sont externes à l'IRSN, dont deux vétérinaires. Le principe des 3R est appliqué. Il vise à « réduire » le nombre d'animaux utilisés, les « remplacer » chaque fois que c'est possible et « raffiner », c'est-à-dire préserver au mieux leur bien-être, tout en tenant compte des bénéfices

attendus pour la santé humaine. Un groupe de support à la recherche et à l'éthique animale veille au respect des règles légales et éthiques, et aux procédures de soin en intervenant quotidiennement dans les animaleries. Ses membres – une vétérinaire et six zootechniciens – développent la sensibilité et les compétences des chercheurs. « Ici, il n'y a pas de séparation stricte des rôles. Nos techniciens, une fois les cages nettoyées et les animaux soignés, participent aux manipulations nécessaires aux recherches, explique le Dr Delphine Denais-Laliève. Les chercheurs ont beaucoup à apprendre des techniciens et de leurs observations, qui enrichissent souvent les résultats. »

CONTACT

delphine.denaislalieve@irsn.fr

WWW Pour en savoir plus : www.irsn.fr/GSEA

missions locales d'information (Anccli), le constat est désormais partagé : « Les résultats des campagnes de distribution sont extrêmement décevants eu égard aux moyens mis en œuvre. » Depuis plusieurs années, l'Association et les CLI alertent les pouvoirs publics sur la pertinence du mode de diffusion. « Il nous paraît inadapté à la réalité des territoires. J'ai proposé à tous les partenaires de réfléchir à une refonte totale du système, à des modes de distribution plus appropriés qui tiennent compte de la spécificité et des besoins de chaque territoire », précise le président de l'Anccli. ■

1. Priodac : Prophylaxie répétée par l'iode stable en situation accidentelle. Il s'agit d'un projet soutenu par l'Agence nationale de recherche (ANR) dans le cadre du programme d'investissements d'avenir (PIA) « Nucléaire de demain » RSNR 2012.

WWW Pour en savoir plus : Thèse de Dalila Lebsir sur la toxicologie de l'iode stable : www.irsn.fr/these-Lebsir

Thèse de Damien Rosique sur l'évaluation métabolique du blocage réitéré de la thyroïde par l'iode : <https://ecole-doctorale-62.univ-amu.fr/soutenance/781>



REPORTAGE Avec l'extension du Plan particulier d'intervention (PPI) à 20 km autour des centrales, 2,2 millions de personnes doivent retirer des comprimés d'iode en pharmacie. Une protection efficace en cas de rejets radioactifs.

Protection de la population Ce qu'il faut savoir sur les comprimés d'iode



En juin 2019, les courriers d'information sont expédiés. En septembre, c'est le tour des bons de retrait nominatifs. À partir d'octobre, 145 000 personnes habitant entre 10 et 20 kilomètres autour des centrales nucléaires de Paluel et Penly (Seine-Maritime) sont invitées à retirer gratuitement en pharmacie leurs comprimés d'iode stable, ou iodure de potassium. Les entreprises effectuent la même démarche pour leurs salariés, et les établissements recevant du public (ERP) pour leurs visiteurs. En cas de perte du bon, un justificatif de domicile suffit. Des stocks supplémentaires restent disponibles pour les retardataires et les habitants du périmètre entre 0 et 10 kilomètres ne s'étant pas manifestés lors de la distribution de 2016.

Pourquoi une nouvelle campagne de distribution alors que la précédente remonte à trois ans ? Parce que l'accident de Fukushima a montré que l'iode radioactif « voyageait » davantage qu'estimé auparavant. Le Plan particulier d'intervention (PPI) a donc été étendu en 2016. Environ 2,2 millions de personnes et

204 400 ERP sont concernées autour des 19 centrales françaises.

« En cas d'accident, si la consigne est donnée par les autorités, tout le monde doit les prendre, y compris les femmes enceintes, rappelle Cécile Challeton de Vathaire, experte à l'IRSN. La posologie de ces cachets dosés à 65 mg et sécables en 4 est simple. Elle consiste en une prise unique de deux comprimés pour les plus de 12 ans, un seul de 3 à 12 ans, un demi de 1 à 36 mois et un quart jusqu'à 1 mois. » L'experte participe à de nombreux exercices avec la Cellule technique de crise (CTC). Elle sait que son rôle sera de rassurer les personnes qui prendront les comprimés, notamment sur les allergies à l'iode. En cas de doute, il faut poser la question au pharmacien. ■

À noter : Les dispositions de cette campagne 2019 n'intègrent pas les résultats du projet Priodac.

www Pour en savoir plus : <http://www.distribution-iode.com>

- 1 Affiche incitant les riverains à retirer leurs comprimés d'iode stable en pharmacie pour protéger leur thyroïde en cas de rejet accidentel d'iode radioactif dans l'atmosphère.
- 2 Bon pour le retrait gratuit des comprimés dans les pharmacies participant à l'opération. Sans bon, un justificatif de domicile suffit.
- 3 À la Pharmacie centrale des armées, située à Chanteau (Loiret), dépoussiérage des comprimés d'iode avant leur conditionnement.
- 4 Auparavant dosés à 130 mg, les comprimés d'iode stable comportent désormais 65 mg d'iodure de potassium, comme en Allemagne, en Belgique et en Suisse.

■ BIBLIOGRAPHIE

Les 30 ans de Tchernobyl
www.irsn.fr/BR2015-2017
www.santepubliquefrance.fr/les-actualites/2016/26-avril-2016-30-ans-de-tchernobyl

Les accidents de Tchernobyl et Fukushima :
www.irsn.fr/Tchernobyl
www.irsn.fr/Fukushima

Cancer de la thyroïde et accident nucléaire : où en sommes-nous 30 ans après Tchernobyl et 5 ans après Fukushima ?
BEH, 2016, 11-12 : 198-199.
www.invs.sante.fr/beh/2016/11-12/2016_1112_0.html

■ CONTACTS

marc.benderitter@irsn.fr
delfine.denaisalieve@irsn.fr
eric.blanchardon@irsn.fr
cecile.challetondevathaire@irsn.fr



Injection à l'aide d'une seringue plombée de technétium, utilisé comme traceur radioactif pour la scintigraphie.

Contamination lors d'une injection

Comment gérer les risques liés à l'extravasation ?

L'ESSENTIEL Lors de l'injection d'un médicament, celui-ci peut se diffuser en dehors de la veine. C'est l'extravasation. Quelles sont les recommandations pour prévenir cet incident et comment prendre en charge le patient s'il s'agit d'un médicament radiopharmaceutique ?

TÉMOIGNAGE Une physicienne médicale du CHU de Lyon. **INFOGRAPHIE** Les mesures immédiates à prendre en cas d'incident. **AVIS D'EXPERT** Une spécialiste en médecine nucléaire de l'IRSN.



Perrine Tylski

Physicienne en médecine nucléaire au CHU de Lyon (Auvergne-Rhône-Alpes)

TÉMOIGNAGE « Si une extravasation est suspectée, le traitement est interrompu »

Dans la matinée du 21 septembre 2017, une personne de 70 ans est admise dans notre service pour recevoir une première perfusion lente de lutathera¹. Elle vise à traiter une tumeur de l'intestin grêle. L'injection est sur le point de s'achever lorsque l'infirmière supervisant l'acte médical constate un gonflement dans le pli du coude gauche du patient. Face à la suspicion d'extravasation, le traitement est immédiatement interrompu. Le bras est surélevé et enveloppé dans des pansements chauds pour favoriser la diffusion de la radioactivité. Une première scintigraphie de contrôle est réalisée dans la foulée. L'extravasation est confirmée au niveau du membre supérieur.

À partir de la dose de lutathera injectée, de la première scintigraphie et d'une seconde réalisée cinq heures après l'injection, je réalise une estimation approximative de la dose absorbée au niveau du bras de 12 Gy² en fin de journée.

Je communique ces informations aux experts de

l'IRSN, qui réalisent une estimation indépendante, proche de la mienne. Le risque de nécrose – observé pour des doses supérieures à 20 Gy – et la nécessité d'un rinçage chirurgical sont alors écartés. Malgré ce résultat, nous demandons au patient de se masser le bras à plusieurs reprises durant la nuit, afin que le médicament continue à se disperser dans l'organisme. Le lendemain matin, deux scintigraphies de contrôle sont réalisées. Elles montrent que la radioactivité a été presque totalement évacuée du bras. Le patient peut rentrer chez lui. Il revient dans le service six jours, puis trois semaines après l'incident pour surveiller l'éventuelle apparition de séquelles liées à l'irradiation. Aucune n'a été détectée. ■

1. Ce médicament radiopharmaceutique associe un atome de lutécium 177 à une molécule destinée à être capturée par des récepteurs chimiques situés à la surface des tumeurs.
2. Exprimée en gray (Gy), la dose absorbée représente l'énergie que l'atome radioactif transmet à la partie du corps avec laquelle il entre en contact.

Extravasation : les mesures immédiates à prendre en cas d'incident

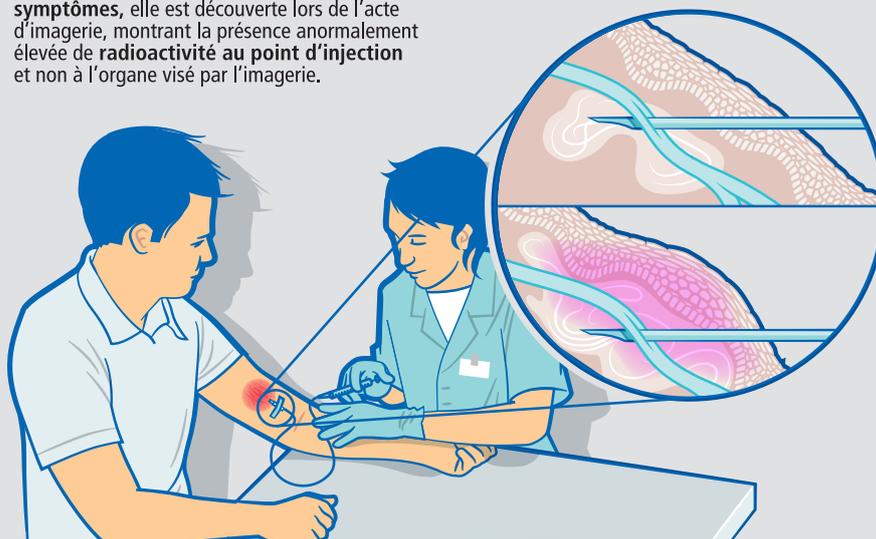
Qu'est-ce qu'une extravasation en matière de médicament radioactif ?

Qu'est-ce qu'une extravasation ?

Il s'agit d'une **injection** inappropriée ou non intentionnelle de médicaments dans les espaces périvasculaires ou sous-cutanés plutôt que dans le compartiment vasculaire cible. Avec un MRP, l'extravasation peut provoquer un **œdème**, une **douleur**, une rougeur voire une **nécrose**, selon l'activité du radionucléide présent dans la zone extravasée et les mesures prises pour gérer l'incident. Lorsqu'elle est **sans symptômes**, elle est découverte lors de l'acte d'imagerie, montrant la présence anormalement élevée de **radioactivité au point d'injection** et non à l'organe visé par l'imagerie.

Comment se diffuse le médicament ?

L'extravasation survient quand le **dispositif d'injection traverse la veine** ou que celle-ci se rompt. Le MRP se diffuse dans les tissus. Le **niveau d'irradiation** dépend du **radionucléide administré**, du **volume extravasé** et de son **temps de présence** dans celui-ci.



Quels sont les facteurs favorisants ?

Certains sont liés au patient : la **fragilité du système veineux**, des **problèmes circulatoires** ou l'**agitation** du malade au moment de l'administration. L'utilisation d'une **aiguille** ou d'un **dispositif automatique** sont des facteurs favorisants.

Le **lieu d'injection** – où il y a **peu de tissus sous-cutanés** comme le dos de la main – et le **manque de formation et d'expérience** du personnel soignant peuvent expliquer la survenue de tels événements.

Quelles sont les mesures immédiates pour limiter l'extravasation ?



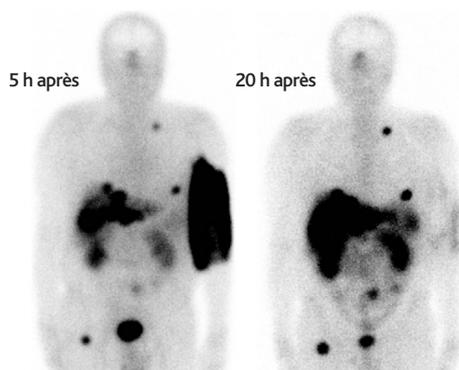
Retirer le dispositif d'administration.

Si possible, aspirer le liquide extravasé.

Interrompre la perfusion.

Réaliser un retour sur expérience (REX).

© A. Dagani/Citizen Press/Médiathèque IRSN/Magazine Repères



Scintigraphie de suivi réalisée 5 heures et 20 heures après le début de la perfusion.

© Hospices civils de Lyon

UNE TRAÇABILITÉ OBLIGATOIRE

Toute extravasation significative doit être déclarée sous deux jours à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) via le portail¹ dédié aux signalements des événements significatifs pour la radioprotection (ESR). Si elle est en lien avec le matériel utilisé pour l'injection, une déclaration de matériovigilance est transmise par l'établissement à l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM). L'IRSN peut également être informé dès lors que l'extravasation implique un MRP à usage thérapeutique.

1. www.asn.fr

METTRE L'ACCENT SUR LA PRÉVENTION

Pour limiter le risque d'extravasation associé à l'injection d'un MRP, la voie veineuse doit d'abord être testée par vérification du retour veineux. Le site d'injection doit être bien choisi et le cathéter de diamètre adapté. Tout au long de la perfusion, il s'agit de surveiller certains signaux d'alerte : sensation de picotement, apparition d'une rougeur autour du point d'injection... Au moindre problème, il faut arrêter l'injection pour éviter une complication.

AVIS D'EXPERT



Aurélie Desbrée

Spécialiste en médecine nucléaire du Laboratoire d'évaluation de la dose interne (LEDI)

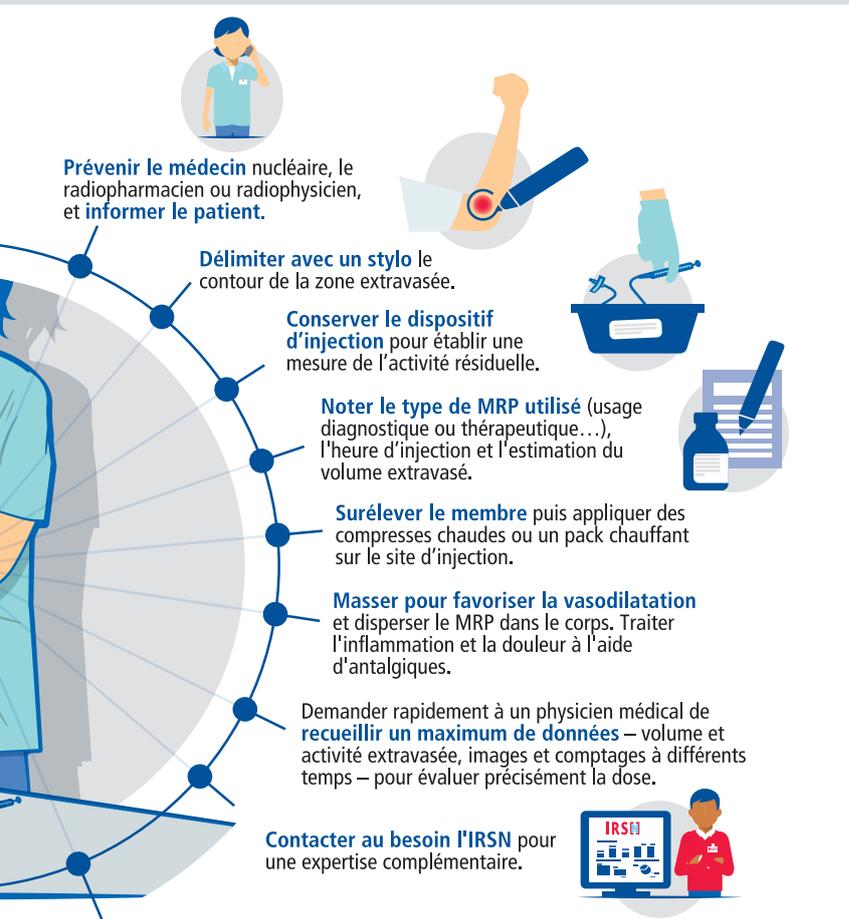
Nous réalisons un calcul précis de la dose

“ Lorsqu’une extravasation est détectée, un calcul de dose est réalisé à l’hôpital. Le médecin, radiopharmacien ou physicien médical peut contacter l’Unité d’expertise en radioprotection médicale (UEM) via la plateforme Rpméd pour bénéficier de l’aide de l’IRSN. Nous réalisons un calcul précis de la dose reçue par le patient, à partir du niveau d’activité et du volume du médicament radiopharmaceutique (MRP). De spécialités différentes – physique et médecine nucléaire, chimie... –, nous disposons d’un savoir-faire en calcul de dose et connaissons les cas d’extravasation passés. Nous précisons la marche à suivre pour optimiser la prise en charge du patient. En 2018, l’Institut a formé des physiciens médicaux pour leur apprendre à réaliser eux-mêmes une évaluation dosimétrique précise. L’Institut et la Société française de radiopharmacie (SoFRa) devraient participer à un groupe de travail. L’objectif est de mettre à la disposition des professionnels des procédures pour limiter le risque d’extravasation. Une initiative importante compte tenu du développement actuel de la radiothérapie interne vectorisée, utilisant un éventail large de MRP. »

CONTACT

Aurélie Desbrée
01 58 35 80 36
aurelie.desbree@irsn.fr

Extravasation? Quelles sont les recommandations de prévention et de prise en charge après extravasation d'un médicament radiopharmaceutique (MRP)?



Si la dose absorbée dépasse 25 Gy, il y a risque de nécrose. Le **recours à un geste chirurgical** se fait après **examen de la situation** par une équipe pluridisciplinaire constituée d'experts de l'IRSN – radiobiologistes et dosimétristes –, de médecins spécialisés en radioprotection et de chirurgiens, notamment ceux de l'hôpital Percy (Hauts-de-Seine).

Source : IRSN et SoFRa

UN ACCIDENT EXCEPTIONNEL

- 1,5 million d'injections de produits radioactifs ont lieu en France chaque année dans les services de médecine nucléaire.
- 2 à 5 cas d'extravasation associés à des lésions tissulaires sont signalés chaque année auprès de l'ASN (probable sous-estimation). Parmi la soixantaine d'incidents répertoriés depuis 2010, la plupart sont restés sans conséquence notable pour le patient. À l'exception d'une extravasation impliquant l'usage d'yttrium 90, survenue en 2015, aucun cas n'a nécessité une intervention chirurgicale.

CONTACTS

Unité d'expertise en radioprotection médicale (UEM),
01 58 35 92 86, rpméd@irsn.fr

BIBLIOGRAPHIE

- Barré E. et al. (2013), Extravasation des médicaments radiopharmaceutiques : mesures préventives et prise en charge recommandées par la SoFRa. *Annales pharmaceutiques françaises*, 71(4):216-224.
- Van der Pol J. et al. (2017), *Eur J Nucl Med Mol Imaging*.

Risque radon : une journée pour mieux comprendre

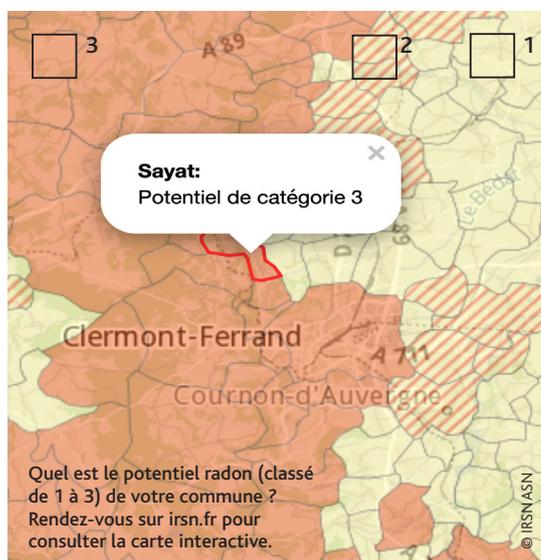
Impact sanitaire, recensement des zones concernées, auto-mesurage : des acteurs de la prévention du risque radon en milieu professionnel rencontrent des experts et leur posent des questions sur les mesures à mettre en œuvre.

1 Pourquoi cette journée d'information sur la réglementation du risque radon ?

Depuis juillet 2018, la transposition en droit français d'une directive européenne intègre le risque lié au radon dans la gestion des risques professionnels. Afin de répondre aux interrogations suscitées par cette nouvelle réglementation, l'IRSN et l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) ont organisé une journée d'information le 6 juin 2019, dans les locaux de l'IRSN à Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine).

Issu de la désintégration de l'uranium et du radium présent dans le sol, ce gaz radioactif s'accumule et pollue l'air des lieux confinés. Les études épidémiologiques ont établi son caractère cancérigène pour les poumons, avec un effet proportionnel à la durée d'exposition. « Je commence à recevoir des demandes

d'entreprises qui font de la veille réglementaire et qui voient apparaître de nouveaux textes sur le radon. Elles veulent des informations sur l'impact de cette réglementation et sur la manière d'évaluer le risque », résume Pierre Laurent, contrôleur sécurité de la Caisse d'assurance retraite et de santé au travail (Carsat). Même constat chez une femme médecin de prévention dans les Vosges : « Je ne savais pas grand-chose sur le radon. En connaissant mieux ses effets sur la santé et les endroits à risque, je pourrai rassurer les personnes que je vois et partager l'information avec mes collègues. » Elle s'interroge sur les risques d'autres infections pulmonaires non cancéreuses. « Peu de données existent sur ce sujet pour l'instant », précise Klervi Leuraud, épidémiologiste à l'IRSN.



2 Quelles populations sont concernées ?

Auparavant limitée aux milieux souterrains – caves, tunnels... – dans certains départements prioritaires, l'évaluation du risque radon concerne dorénavant tout lieu de travail en sous-sol ou rez-de-chaussée. L'analyse se fait à l'échelle communale, selon une cartographie de l'IRSN du potentiel radon des sols, allant de 1 à 3 – le plus élevé.

Cette complexité inquiète certains participants. « Le recensement devra être plus précis et il va prendre plus de temps. J'attendais cette journée pour réfléchir aux moyens de procéder », explique Gilles Radenne, préventeur chez SNCF Réseau.



Géraldine Ielsch, experte à l'IRSN, présente le radon comme la source principale d'exposition de l'homme.



3 Qui s'occupe de la prévention du risque ?

Dans le cas de locaux utilisés par plusieurs sociétés, qui est responsable : l'employeur ou le propriétaire du bâtiment ? « Pour le code du travail, le responsable est l'employeur. S'il n'est pas propriétaire des locaux ou s'il s'agit d'une entreprise extérieure, il doit s'assurer d'avoir les informations

nécessaires pour garantir une bonne prévention du risque », explique Hervé Visseaux, de la Direction générale du travail (DGT). « Il y a un projet de base de données informatisée pour partager toutes les mesures effectuées », ajoute Géraldine Ielsch, de l'IRSN.

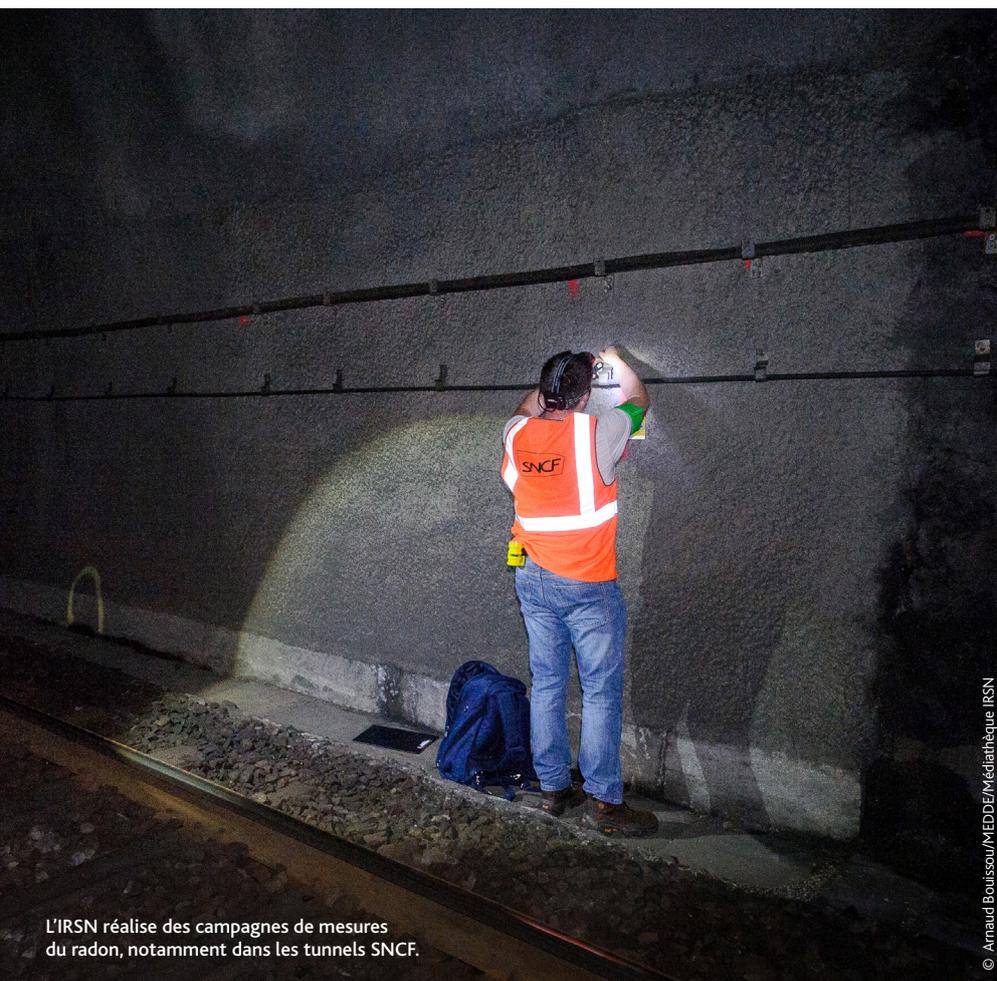


Pierre Laurent, contrôleur sécurité en Carsat.

4 Quelles pratiques adopter face au risque radon ?

« Quand on est une entreprise qui compte 10 000 bâtiments répartis sur l'ensemble du territoire, comment gérer le mesurage de la manière la plus intelligente et préventive possible ? » se demande Marc Mougel, en charge de la sécurité au travail chez Orange. Même interrogation chez Jean-Jacques Menec, chargé d'affaires à l'établissement du service d'infrastructure de la Défense (ESID) organisant la mise en place du dépistage radon sur la base de défense Brest-Lorient, située en zone 3. Des cas pratiques présentés durant la journée expliquent comment positionner les dosimètres – des détecteurs solides de traces nucléaires (DSTN) – dans les locaux. Des fiches techniques publiées¹ par l'IRSN aideront les entreprises à tenir compte des spécificités de leurs sites. Les mesures et actions à mener les plus simples concernent l'étanchéité et la ventilation du bâti. « Savoir qu'on peut traiter la solution sans forcément rentrer dans de la protection renforcée est un élément important », pour Marc Mougel.

1. Consultables sur : www.irsn.fr/livret-radon



L'IRSN réalise des campagnes de mesures du radon, notamment dans les tunnels SNCF.

© Arnaud Bouissou/MEDDE/Médiathèque IRSN

5 Quels enseignements tirer de cette journée ?

La présentation du retour d'expérience de dépistage dans un musée a suscité l'intérêt de Gilles Radenne : « Dans nos tunnels, les plus hauts seuils étaient de 700 Bq/m³. J'ai été surpris d'entendre parler de valeurs de 2 000 Bq/m³ et même au-delà. Cette journée confirme qu'il y a beaucoup de travail à réaliser, mais le procédé à suivre est plus clair. » Une journée instructive pour Aline Moka, médecin du travail en Bretagne : « Un chef d'entreprise a besoin d'informations pratiques. Plus nous anticipons ses questions, plus

nous avons son écoute et son adhésion. » Un bilan plus nuancé pour Pierre Laurent : « Pour qu'on puisse répondre aux entreprises de façon efficace, il faut que l'information soit accessible. Or la réglementation n'est pas encore totalement parue. » Une référence aux arrêtés que la DGT doit publier et que les participants attendent impatiemment.

www Pour en savoir plus :
Présentations filmées des intervenants :
www.irsn.fr/radon-milieu-professionnel
Le risque radon : www.irsn.fr/radon



Ingénieurs, médecins, préventeurs... 150 professionnels assistent à la journée d'information sur le radon.

ZooParc de Beauval

Les animaux passent à la radio

Un lion à radiographier, un orang-outang à scanner... à la clinique du parc zoologique de Saint-Aignan (Loir-et-Cher), les patients sortent de l'ordinaire. Si les règles de radioprotection restent classiques, leur application demande aux vétérinaires et aux auxiliaires... d'être malins comme des singes.

Juchée sur un bidon en plastique, sans pouvoir toucher terre, elle attend, anxieuse, la fin de sa radiographie. Sa posture pourrait sembler étrange, s'il ne s'agissait pas en réalité... d'une tortue, l'un des 10000 patients de Baptiste Mulot. « Nous lui mettons les pattes dans le vide pour éviter qu'elle ne bouge le temps du cliché. Cela fait partie des astuces à trouver lorsqu'on travaille dans un endroit comme celui-ci », explique le chef vétérinaire, directeur de la clinique depuis 2014 et personne compétente en radioprotection (PCR) de niveau 2' depuis 2009.

La clinique dispose d'un poste de radiographie fixe, d'un générateur de rayons X mobile et d'un scanner. Pour chaque équipement, il existe des autorisations de mise en service et des procédures de radioprotection. En entrant dans la salle de radiologie, il est possible d'apercevoir, derrière une vitre, le bloc de chirurgie et, au fond de la pièce, une porte donnant accès au scanner. « Contrairement à la radio, le scanner n'est pas une pratique habituelle des vétérinaires : il faut parfaire son utilisation avec des animaux. Au-delà de son application médicale, c'est un outil qui sert à documenter des bases de données sur l'anatomie de nos pensionnaires. » En l'absence de normes pour les installations vétérinaires, les soignants appliquent celles en vigueur pour les humains.

Des doses et une exposition faibles

À Beauval, avec en moyenne 1000 clichés par an – soit un animal à radiographier tous les deux jours –, l'activité n'est pas comparable à celle d'un hôpital. Et compte tenu de la faible puissance des rayonnements utilisés, les doses d'exposition restent limitées : entre 0,014 et 0,029 millisieverts par an en moyenne pour le corps entier. Classés B, les vétérinaires et ASV² de la clinique portent tous un dosimètre passif individuel. Leurs

Équipés d'un tablier plombé et d'un protège-thyroïde, Baptiste Mulot, chef vétérinaire, et Karine Ecomard, ASV² à la clinique, utilisent des bidons en plastique pour immobiliser la tortue et caler le capteur plan wifi (visible de dos). En s'éloignant du générateur de rayons X, ils limitent leur exposition.



données sont transmises trimestriellement à la plateforme Siseri de l'IRSN, qui regroupe les doses de tous les professionnels exposés en France.

S'adapter au terrain pour les grands animaux

Du fait de la taille des animaux ou pour limiter le recours à l'anesthésie, 20 % des clichés sont réalisés dans les enclos. Cette contrainte demande des aménagements spécifiques. Ce matin, Baptiste Mulot va examiner Black, une otarie mâle de 26 ans et de quelques centaines de kilogrammes.

« Pour personnaliser notre dossier d'autorisation pour l'utilisation du poste mobile, j'ai modélisé tous les cas de figure : lorsque le tir est horizontal ou vertical, si l'animal est endormi ou pas, effectué en présence d'une ou plusieurs personnes... » Avec près de 750 espèces à suivre, il est important d'être bien préparé. ■

1. Niveau de formation nécessaire pour l'utilisation de la radiologie en régime autorisation (scanner et poste mobile).

2. L'auxiliaire spécialisé vétérinaire (ASV) assiste le vétérinaire pendant les examens complémentaires et les opérations. Il est également exposé aux rayonnements ionisants.



DIAPORAMAS

Retrouvez tous les reportages !



Les étapes d'une radio de tortue à la clinique...

www.irsn.fr/R44



... et d'une otarie dans son enclos

www.irsn.fr/R44



Scanner à rayons X

Le ZooParc de Beauval dispose d'un scanner. Il peut accueillir des patients jusqu'à 200 kilogrammes. Au-dessus de la porte d'entrée, des lumières rouge et blanche indiquent s'il est en fonctionnement. Toute ouverture des portes durant l'utilisation coupe immédiatement le générateur. Le personnel opère depuis une salle de contrôle plombée située dans une pièce adjacente.



Indiquer les zones à risque

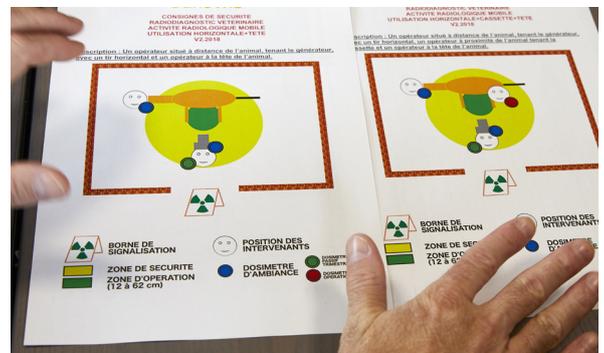
Derrière cette porte se trouve le bloc de chirurgie, où le personnel peut être amené à utiliser un générateur mobile. La signalétique rappelle les consignes de radioprotection et un dosimètre d'ambiance est installé dans la pièce. Sur le terrain, les soignants utilisent une pancarte mobile. Elle comporte un trèfle, délimite la zone d'intervention, indique le risque d'émission de rayons et interdit le passage.



Reportage photos : © Célia Gouraud/Médiathèque IRSN

Une collaboration essentielle

Protégé par une housse noire, le capteur wi-fi est installé sous la nageoire de l'otarie Black. Pour limiter l'exposition, et ne toucher que l'animal, le tir se fait à la verticale. La croix rouge permet d'ajuster la position du faisceau. À proximité, Chloé Martin, soigneuse, contrôle et calme l'animal. Obligée de rester dans la zone surveillée, Chloé porte une tenue plombée et un dosimètre.



Former les employés

En tant que personne compétente en radioprotection (PCR), Baptiste Mulot forme les nouveaux personnels à la radioprotection. Il effectue un rappel chaque année. « La radioprotection ne se limite pas au simple équipement », insiste-t-il. Le fonctionnement des générateurs, du scanner, les notions théoriques sur la dosimétrie et les risques sont aussi expliqués.

Prévoir toutes les situations

Le dossier de radioprotection est nécessaire au suivi des professionnels, à leur formation et aux discussions avec les autorités. Il contient les évaluations dosimétriques et décrit les contextes d'intervention (ici l'animal à radiographier est représenté en orange). Pour chaque situation il précise les consignes et l'équipement requis.



Professionnels, découvrez nos formations en radioprotection

Radiologue, médecin du travail, industriel, ingénieur en sûreté nucléaire ou en environnement... vous êtes en contact avec des rayonnements ionisants? L'IRSN vous propose un large catalogue de formations en radioprotection des personnes et de l'environnement.

Cette offre est gérée par l'ENSTTI¹, qui délivre dans ce cadre des certifications de personnes compétentes en radioprotection. Rendez-vous sur <http://formation.irsn.fr> pour accéder en quelques clics à l'ensemble des formations proposées.

1. European Nuclear Safety Training and Tutoring Institute



Pour en savoir plus

Vous voulez programmer une formation? Organiser une session sur mesure? Vous avez des questions sur notre catalogue?

Contactez l'ENSTTI

01 58 35 83 00 - contact@enstti.eu

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire