



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

IRSN

INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

REPÈRES

FAITS ET PERSPECTIVES

Guerre en Ukraine : enseignements
pour l'organisation de crise

INTÉRÊT PUBLIC

Partage d'expériences
pour la mesure de la radioactivité

DOSSIER

Cancer et radiothérapie
Traiter sans nuire



L'Esprit IRSN

Après « Nucléaire, comment éviter la catastrophe » et « On baigne dans la radioactivité », retrouvez un nouvel opus de 52 minutes réalisé avec l'Esprit sorcier TV sur YouTube. Dans cette émission « Comment soigner sans abîmer », Sophie Jacob et Alain Chapel expliquent le fonctionnement et les limites de la radiothérapie.

<https://youtu.be/5yvn3L0NVbw>

Comment se procurer un ancien numéro de Repères ?

Repères passe au tout numérique ! Vous souhaitez vous procurer un ancien numéro en version papier ? Il suffit de remplir un formulaire sur le site Internet pour recevoir gracieusement un ou des numéro(s). Les versions digitales de chaque

magazine sont disponibles sur www.irsn.fr/reperes au format pdf et webmagazine. Ce dernier comporte des articles complémentaires, des vidéos et des diaporamas. reperes.irsn.fr/commande-numeros



Bilan 2022 des expositions professionnelles

Comme chaque année, l'IRSN réalise un bilan de la surveillance des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants. Sont concernés les domaines médical et vétérinaire, l'industrie nucléaire et non nucléaire, la recherche, ainsi que les travailleurs de la défense et ceux exposés à des sources naturelles. Exposition externe, interne, dépassements des limites annuelles... découvrez toutes les évolutions en téléchargeant le rapport sur irsn.fr www.irsn.fr/bilan-travailleurs-2022

Agenda

13 au 16 octobre

Paris

Journées Francophones de Radiologie

« Le diagnostic intégré, la radiologie au-delà de l'image », c'est le thème des JFR2023 qui se tiennent au Palais des congrès. Séances pédagogiques, d'interprétation en imagerie pédiatrique, de cas clinique, ateliers... Découvrez le programme sur Internet.

www.jfr.plus/jfr-2023

23 novembre

Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine) et sur Teams JPSI 2023

Depuis 2020, l'IRSN organise chaque année une « Journée des Plateformes Scientifiques de l'IRSN » (JPSI) pour promouvoir ses moyens scientifiques et techniques. Cette année, la JPSI s'adresse aux acteurs de l'irradiation gamma de R&D : chercheurs, experts, industriels, fournisseurs d'équipements ou de services, étudiants... Présentation d'installations, témoignages, workshop rythmeront la journée, également retransmise en direct. Inscriptions en ligne.

www.irsn.fr/inscription-JPSI-2023

Online WEBMAG

www.irsn.fr/Reperes



Dossier

Exposition médicale : évaluer le risque pour l'enfant à naître



Dossier

La radioprotection en radiologie interventionnelle



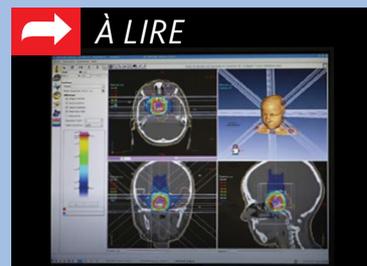
Faits et perspectives

Radiothérapie pulmonaire stéréotaxique : recherches pour mieux comprendre



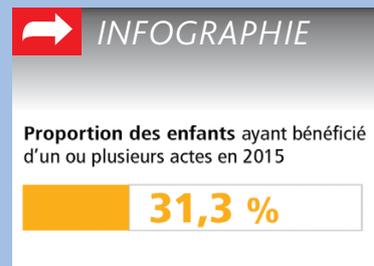
Dossier

Comprendre l'exposition radiologique liée à l'imagerie médicale



Dossier

Recherche en radiothérapie



Dossier

Exposition des enfants dans un contexte médical

À compter d'octobre 2023, Repères devient un média 100 % numérique : reperes.irsn.fr

Abonnez-vous dès à présent à la newsletter de Repères en scannant ce QR code avec votre mobile.



À LIRE

Dossier

Cristallin : les yeux sous haute radioprotection

ERRATUM

Une erreur s'est glissée dans le numéro 57 du magazine Repères. En page 9, dans la rubrique Zoom, la barre d'échelle de l'image a été rapportée cinq fois plus petite qu'elle ne devait l'être.

Sommaire

En couverture : Un accélérateur linéaire couplé à l'IRM est utilisé pour traiter le cancer. Au Centre régional de lutte contre le cancer Georges-François Leclerc à Dijon (Côte-d'Or), Aurélie Petitfils, physicienne médicale et Louis Ermeneux, doctorant à l'IRSN, installent un détecteur.

P.4 TEMPS FORTS

Prolongation des réacteurs
Quelle prise en compte des questions du public ?

Étude en Manche
Tritium : émissions depuis la mer
vers l'atmosphère mieux évaluées



P.6 FAITS ET PERSPECTIVES

Guerre en Ukraine
L'organisation de crise : premiers enseignements

P.9 ZOOM

Fragmentation explosive

DOSSIER P.10

Dossier du prochain numéro :
Études probabilistes
de sûreté : quels apports ?

Cancer et radiothérapie
Traiter sans nuire

P.17 EN PRATIQUE

Exercice de crise
Prendre des mesures pour protéger
la population

P.20 INTÉRÊT PUBLIC

Partage d'expériences pour
la mesure de la radioactivité



P.22 REPORTAGE

Pièges à iode
Vers des tests sans radioactivité

Repères devient 100 % numérique

Pour répondre aux nouveaux usages de la lecture de la presse, votre magazine *Repères* devient un média 100 % numérique à partir du mois d'octobre 2023.

Avec le format digital, vous bénéficierez de tous les avantages du web : des contenus accessibles sur ordinateur, mobile, tablette et des articles régulièrement mis en ligne.

Cette offre va nous permettre d'aller à la rencontre de nouveaux publics et de renforcer le lien avec vous.

Repères évolue, mais l'esprit du magazine reste le même. Il vous donne des clefs de compréhension sur le nucléaire et la radioprotection.

Il aborde de façon pédagogique la prévention des risques. Grâce à son approche opérationnelle, il présente des bonnes pratiques et des retours d'expérience.

Vous retrouverez vos rubriques habituelles – Dossier, En pratique... – et des contenus qui sont « la marque de fabrique » du magazine ; infographies, informations de référence, reportage...

Au fil des sujets, l'équipe de journalistes est animée d'une même ambition : vous ouvrir les portes des laboratoires de l'Institut, relayer les dernières avancées scientifiques et vous permettre de mieux comprendre la radioactivité qui nous entoure.

Au lancement de *reperes.irsn.fr*, vous découvrirez

comment optimiser les doses pour les patients lors d'un examen d'imagerie dentaire,

l'état des recherches pour prévenir l'accident de criticité et l'implication de la société civile dans la surveillance de l'environnement.

Nous espérons que vous apprécierez cette nouvelle expérience de lecture.

Catherine Rouleau

Rédactrice en chef, magazine *Repères*

REPÈRES – Éditeur : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire - Membre d'ETSON MEMBER OF 31, avenue de la Division-Leclerc, 92260 Fontenay-aux-Roses – Tél. : 01 58 35 88 88 – Site Internet : www.irsn.fr – Courriel : reperes@irsn.fr – Directeur de la publication : Jean-Christophe Niel – Directrice de la communication : Marie Riet-Hucheloup – Rédactrice en chef : Catherine Rouleau – Ont collaboré à ce numéro : Agnès Dumas, Pascale Monti – Comité de lecture : Louis-Michel Guillaume – Rédaction et réalisation, maquette et direction artistique : ABG Communication – Iconographie : Sophie Suberbère – Photo de couverture : © Sophie Brändström/Signatures/Médiathèque IRSN – Impression : Barré (89) – Imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement – ISSN : 2103-3811 et 2491-8776 (Web) – septembre 2023.

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Plaies contaminées

Mieux estimer les doses

Des fantômes* de plaie contaminée sont développés à l'IRSN, afin d'améliorer les méthodes de quantification de l'activité incorporée dans une blessure. Pour prendre en charge une plaie contaminée d'une personne exposée aux rayonnements ionisants, les médecins doivent connaître la dose reçue.

Il existe un risque de surexposition locale et de contamination interne, dû au passage d'éléments radioactifs dans le sang qui peut conduire à des doses élevées.

Une mesure anthroporadiométrique est généralement réalisée en première intention pour quantifier et localiser le ou les radionucléides incorporés.

Mais à ce jour, il n'existe aucun consensus sur la méthode de mesure, ni de fantôme de référence.

Les travaux de l'IRSN visent à proposer une norme, afin d'harmoniser l'évaluation de l'activité à la plaie contaminée.

Une comparaison des résultats obtenus dans plusieurs pays – Europe, Canada et Asie – est en cours.

Les fantômes sont développés pour les professionnels exposés, mais pourront être utilisés pour tout public en cas de besoin.

* *Objet physique simulant des organes anatomiques.*

CANCER

4,3 millions

séances de radiothérapie sont effectuées en 2021 en faveur de 214 000 patients.

6 experts

physiciens médicaux et ingénieurs travaillent à l'Unité d'expertise en radioprotection médicale (UEM).

Sûreté



Roger Spautz, chargé de campagne nucléaire pour l'association Greenpeace, lors de la concertation avec la société civile à l'occasion des quatrièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe.

Prolongation des réacteurs

Quelle prise en compte des questions du public ?

Comment sait-on que les cuves des réacteurs sont sûres au-delà de quarante ans ? Quel est le taux de fuite acceptable pour l'enceinte de confinement ? Les effets du réchauffement climatique sont-ils pris en compte ? Pour répondre aux questions techniques de la société civile sur la prolongation du fonctionnement des réacteurs de 900 MWe, un dialogue est établi entre citoyens et experts de l'IRSN.

Commissions locales d'information (CLI), Anccli¹, associations, IRSN, Autorité de sûreté nucléaire et EDF échangent entre 2014 et 2021. En 2018, le cercle s'élargit à l'ensemble du public dans le cadre de la concertation organisée par le HCTISN². Vingt-trois rendez-vous sont organisés dans toute la France, réunissant de nombreux participants.

La durée de vie des cuves est un sujet de discussion. Les experts répondent aux interrogations dans leurs avis³, sur l'effet de la composition chimique des cuves par exemple, ou les programmes de surveillance.

Une « foire aux questions » est publiée sur irsn.fr structurée en quarante-quatre thèmes, des documents pédagogiques, une quarantaine

d'avis rendus publics... Les réponses sont agrégées dans un rapport de synthèse⁴.

En décembre 2022, une démarche similaire est lancée pour le quatrième réexamen des réacteurs de 1 300 MWe. L'objectif est de recueillir les questions de la société civile en amont des expertises. Si la plupart des sujets concernant les réacteurs de 900 MWe est applicable d'emblée, il existe des questions spécifiques au parc de 1 300 MWe.

1. Association nationale des comités et commissions locales d'information.
2. Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire.
3. Avis IRSN 2018-00295, 2019-00221, 2020-00099.
4. « Questions techniques de la société civile sur le quatrième réexamen des réacteurs de 900 MWe » www.irsn.fr/rapport-irsn-VD4-900MWe-00254



Quatre unités de production de la centrale de Paluel, de 1300 MWe.

Sûreté



© Michel Thurin/Médiathèque IRSN

Le logiciel Astec calcule des rejets radioactifs dans l'environnement. Puis Symbiose évalue des conséquences.

« Thermohydraulique, comportement des matériaux... divers spécialistes sont impliqués.

Accident nucléaire

La simulation étendue à d'autres installations nucléaires

Pour étudier la sûreté d'un réacteur à eau sous pression et préparer la gestion d'un accident de fusion du cœur, les experts utilisent un logiciel dénommé Astec¹. Sa nouvelle version applicable à d'autres installations est désormais disponible. Elle est opérationnelle pour des ateliers de stockage des produits de fission à La Hague (Manche) et pour les piscines d'entreposage du combustible.

Pour réaliser cette évolution, les scientifiques associent plusieurs logiciels. Astec – qui simule les phénomènes depuis l'événement initiateur de l'accident jusqu'aux rejets radioactifs dans l'atmosphère – est couplé avec Sylvia² pour tenir compte

des réseaux de ventilation complexes des ateliers de stockage. Il peut être associé à Symbiose, qui simule la dispersion des radionucléides dans les écosystèmes et calcule l'impact dosimétrique sur l'homme.

Astec est maintenu et développé par l'IRSN. Une dizaine d'experts basés à Cadarache, dans les Bouches-du-Rhône, travaille à son évolution.

Des études sont en cours pour l'adapter aux petits réacteurs modulaires, en développement.

1. Accident Source Term Evaluation Code.
2. Logiciel utilisé dans le domaine de l'incendie pour évaluer la sûreté des installations nucléaires.

Environnement



Prélèvement de tritium dans l'air à Santec (Finistère) et à Goury (Manche).



© Olivier Courtois/Médiathèque IRSN

Étude en Manche

Les émissions de tritium depuis la mer vers l'atmosphère mieux évaluées

Environ 1 % du tritium rejeté en mer par l'usine de La Hague¹ se retrouve dans l'atmosphère à l'échelle de la Manche, montrent les recherches du Laboratoire de radioécologie de Cherbourg-Octeville (LRC, Manche)². Des élévations d'activités de tritium dans l'air sont montrées lors d'expérimentations, entre 2017 et 2021. Dans la région de La Hague, du golfe normand-breton et de la baie de Seine, les valeurs moyennes annuelles dues à ce transfert sont de 130 TBq³. Certaines conditions de vent et de marée transportent ce radionucléide vers les écosystèmes terrestres.

Mieux évaluer les flux entre l'eau et l'air améliore les études d'impact sur la population, en prenant en compte les émissions des rejets chroniques ou accidentels en rivière, fleuve, mer, transportés à terre. L'approche du LRC – couplant modèle hydrodynamique, d'évaporation et de transport atmosphérique – est applicable à d'autres radionucléides.

1. L'exploitant contrôle les rejets soumis à autorisation.
2. Connan O et al. (2023), J. Environ Radioact. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.107068>.
3. Cela équivaut à 260 à 1300 panneaux lumineux de sécurité « Sortie » au tritium.

Résultats de recherche

Durée de vie des aciers

Dans les réacteurs nucléaires, les composants métalliques sont soumis au vieillissement par fatigue. Au sein du circuit primaire principal (CPP), ce phénomène est aggravé par le fluide de refroidissement du cœur du réacteur, composé d'eau et de produits chimiques tels que l'acide borique, la lithine ou encore l'hydrogène.

Cette aggravation est confirmée par les recherches du Laboratoire d'expérimentation en mécanique et matériaux de l'IRSN à Cadarache (Bouches-du-Rhône). En laboratoire, la durée de vie de l'acier est divisée par trois dans les conditions du CPP par rapport à des essais de fatigue menés dans l'air. Les experts examinent la durée de vie des aciers dans le cadre de la prolongation de la durée d'exploitation des centrales.

Ces connaissances seront utiles pour mieux comprendre les effets du vieillissement sur les composants, même si d'autres facteurs interviennent : état de surface, géométrie, efforts, etc.

Ces essais de fatigue assistée par l'environnement sont menés au sein du dispositif Eva* sur une éprouvette en acier inoxydable.

* Étude de vieillissement des aciers.

www Pour en savoir plus :
EVA met l'acier à l'épreuve
www.irsn.fr/R47

FAITS ET PERSPECTIVES



Au sein du centre technique de crise (CTC), à Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine), des experts évaluent les conséquences en cas de rejets dans l'environnement. Ils proposent des actions pour protéger la population et gérer l'environnement.

Guerre en Ukraine

Premiers enseignements pour l'organisation de crise

Évaluation des risques, surveillance de l'environnement, information du public...

Depuis dix-huit mois, les experts de l'IRSN sont mobilisés face à la menace qui pèse sur les installations nucléaires en Ukraine. Un premier retour d'expérience pointe des adaptations à pérenniser ou des évolutions à envisager pour renforcer la capacité d'expertise.

Depuis le 25 février 2022, lendemain du début de l'invasion armée de l'Ukraine par la Russie, l'organisation de crise de l'IRSN est mobilisée, compte tenu de la présence d'installations nucléaires dans les territoires en guerre. L'objectif est de suivre la situation et de produire des informations et des expertises de façon proactive, afin de répondre aux demandes de l'État, des instances internationales, des médias et de la société civile.

Face à la situation inédite de menace nucléaire – variable, imprévisible et durable –, l'IRSN sort de son domaine habituel d'expertise en situation de crise et du cadre dans lequel elle s'exerce. Ses réflexes – acquis lors de crises réelles et d'exercices – lui permettent de s'adapter rapidement. L'Institut développe depuis de nombreuses années

son organisation et ses moyens, afin d'être en mesure de conseiller les pouvoirs publics en cas de situation accidentelle affectant des installations nucléaires en France ou à l'étranger.

Les événements en Ukraine conduisent à élargir le spectre des situations considérées comme pouvant être à l'origine d'un accident, un conflit armé dans un pays doté d'installations nucléaires pouvant remettre en cause leur sûreté.

Résilience de l'organisation

Face à une menace qui dure, la mobilisation de l'organisation de crise évolue pour maintenir un suivi adapté aux enjeux. À l'activation du centre technique de crise (CTC) de Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine) succède un dispositif de veille. Celui-ci

s'adapte aux circonstances et maintient une capacité de réaction en cas de situation réelle, en France en particulier.

L'IRSN innove en définissant un mode veille qui n'existait pas formellement dans son organisation interne. Quatre thématiques nécessitant un suivi régulier sont identifiées : sûreté des installations, surveillance de la radioactivité en Ukraine et en Europe, communication et international. L'Institut intégrera dorénavant dans ses niveaux de gréement un mode veille : il en définira la gouvernance et le type d'actions à réaliser.

Face aux nouveaux défis de cette situation inédite, de nombreux services sont mobilisés et interagissent avec les équipes du CTC. Ils fournissent des données, réalisent des évaluations à l'aide d'outils qui

n'existent pas au CTC. La résilience et la pertinence de l'expertise reposent sur les compétences et les moyens d'évaluation de l'ensemble des unités en sûreté, sécurité, radioprotection de l'environnement et des personnes. Les équipes de support informatique sont fortement sollicitées. Fort de cette expérience, l'IRSN poursuivra le développement de son organisation de crise.

Renforcer la transmission des données

La collecte rapide d'informations techniques fiables est essentielle pour réaliser une expertise pertinente et réactive. Cela est difficile à appréhender en situation de guerre.

Il convient – en lien avec l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et les pays européens – d'identifier et de renforcer les modalités de transmission des données dans les meilleurs délais. À la demande des autorités, des évaluations du risque radiologique pour le territoire national sont effectuées. Un questionnement est apparu sur la réalisation et la présentation des résultats techniques lors d'une phase de menace. Ce sujet devra être approfondi.

Davantage d'échanges avec les centres de crise

Afin de produire un bilan quotidien de l'état de l'environnement en Ukraine et en Europe, l'IRSN adapte ses procédures et développe des outils pour intégrer les données disponibles – réseau Eurdep*, réseau Ukrainien... – et réaliser une analyse. Elle est mise à disposition du CTC et des autorités. Ceci montre qu'il convient de mieux connaître les dispositifs des autres pays – équipements, fréquence de mesures –, d'avoir des points de contact pour des échanges bilatéraux, afin de disposer de données proches du temps réel.

En France, pendant cette crise, l'Institut est en contact avec les ministères – Santé, Affaires étrangères, Armées – qui le sollicitent sur le risque radiologique. Cela conduit à mettre en place un réseau d'interlocuteurs sur les situations radiologiques et à définir les modalités d'échanges. Il convient de le pérenniser.

À l'international, l'IRSN est en contact avec l'AIEA, des organismes européens – Ukraine, Allemagne, Finlande, Norvège –, les États-Unis et le Canada, pour comparer

PROCESS

Guerre en Ukraine : la radioactivité dans l'air est surveillée

Pour renseigner les services sanitaires français et protéger la population, l'IRSN s'appuie sur des réseaux de surveillance de la radioactivité dans l'air.

1 Une surveillance constante

Depuis le 24 février 2022, date du début du conflit, l'IRSN surveille de la radioactivité dans l'air en France et en Europe. Le Laboratoire de télédétection s'en charge 24h/24 et 7j/7. La première situation inquiétante se situe dans la nuit du 3 au 4 mars : un incendie se déclare à la centrale de Zaporizhzhya, en Ukraine.



2 Plusieurs réseaux impliqués

Pour disposer de la vision la plus complète possible et repérer une éventuelle situation d'urgence, l'IRSN mobilise plusieurs réseaux :

Téléray

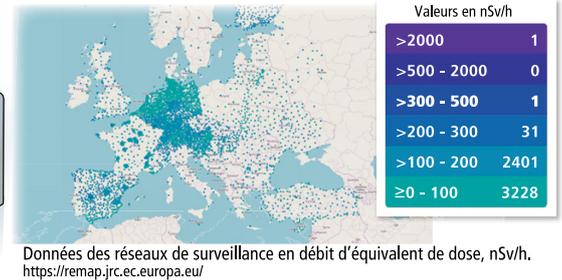
- Réseau de l'IRSN composé de 485 balises réparties sur tout le territoire français.
- Mesure le débit de dose gamma ambiant toutes les dix minutes.
- Une balise est installée sur l'ambassade française en Ukraine depuis avril 2011.

EURDEP¹

- Opéré par la commission européenne.
- Centralise les données des réseaux de surveillance nationaux de nombreux pays européens, dont l'Ukraine.

IRMIS²

- Réseau de l'Agence internationale de l'énergie nucléaire (AIEA).
- Possède des balises, dont certaines installées près de la zone de Zaporizhzhya.



SaveEcoBot³

- Agrège les données issues de neuf opérateurs : Ukrainien, EURDEP, etc.

Agence publique Ukrainienne

- Réseau qui gère la zone d'exclusion de Tchernobyl.

3 Les résultats sont publics

Les experts de l'IRSN recourent les données quotidiennement. Aucune alerte radiologique n'est reportée à ce jour sur le site de Zaporizhzhya. Les informations sont publiées sur irsn.fr.



4 Une surveillance plus fiable

L'Institut renforce ses liens avec les opérateurs des différents réseaux européens, dont le Bureau fédéral de protection des radiations (BFS) allemand.

Objectifs :

- Mieux connaître les technologies des détecteurs de radioactivité utilisés et leurs fréquences de mesure.
- Mieux interpréter les données et assurer une surveillance toujours plus fiable.



1. European Radiological Data Exchange Platform (<https://remap.jrc.ec.europa.eu/>)

2. International Radiation Monitoring Information System
3. <https://www.saveecobot.com/fr>

FAITS ET PERSPECTIVES

Les balises Téléray surveillent la qualité radiologique de l'air. Elles sont souvent installées sur les toits.



© Thierry Bomedon/Signalures/MediaPartique/IRSN

les évaluations de rejets potentiels et leurs conséquences. Un renfort du dialogue est à envisager avec des centres de crise sur les méthodes d'évaluation ou les partages de données, en lien avec la cellule internationale du centre de crise de l'Institut, qui continue de se développer.

Nécessaire entraînement

Face aux nombreuses sollicitations médiatiques, l'IRSN s'appuie sur plusieurs porte-paroles, dont certains sont thématiques. Des notes d'information sont mises en ligne sur *irsn.fr*. L'organisation de la réponse aux médias et la préparation d'éléments pédagogiques seront pérennisées. Être capable de se mobiliser pour fournir rapidement aux autorités une évaluation des conséquences – dans l'Hexagone et pour les ressortissants – conduit à mettre en place des exercices d'entraînement des équipes d'astreinte sur des événements spécifiques en Ukraine. Ce dispositif devrait être reconduit régulièrement si la situation dans ce pays perdure.

Les événements en Ukraine rappellent que les plans de gestion de crise ne peuvent jamais tout prévoir. L'IRSN identifie des pistes de progrès concernant son organisation et ses moyens, en réponse aux multiples sollicitations d'une crise. Il les concrétisera dans les mois à venir. ■

* La plateforme européenne Eurdep (European Radiological Data Exchange Platform) permet l'échange de données de la surveillance radiologique entre trente-neuf pays, presque en temps réel.

www Pour en savoir plus : <https://remon.jrc.ec.europa.eu/>

Quel est l'appui demandé par la DGS ?

La DGS veille à protéger les Français sur le territoire national et à l'étranger. Elle assure la gestion des risques, des alertes et des urgences sanitaires, et la préparation aux menaces exceptionnelles. Dans le contexte du conflit en Ukraine, nous demandons très régulièrement à l'IRSN de nous informer sur la situation radiologique. Ses experts produisent des modèles de dispersion. Dès le printemps 2022, ceci nous permet d'évaluer des impacts potentiels en cas de fuites de telle ou telle centrale, selon différents scénarios météorologiques.

Quelles leçons tirez-vous ?

En lien avec l'IRSN, nous identifions le besoin de préparer en amont les recommandations sanitaires et les conduites à tenir à adresser au public et aux professionnels de santé en cas d'accident. Les consignes de prises d'iode – le niveau de déclenchement, l'âge des personnes concernées – varient selon les pays. Dans une situation d'urgence, cela pourrait générer de la confusion dans l'opinion. Nous estimons nécessaire d'harmoniser ces recommandations, comme celles pour la mise à l'abri ou les restrictions de consommation.

Les agences sanitaires et leurs partenaires européens doivent travailler sur ce sujet.

Qu'attendez-vous en cas d'accident ?

L'Institut doit confronter rapidement ses modélisations à la météorologie réelle pour déterminer quels territoires seraient touchés, avec quelle intensité. L'information diffuse vite aujourd'hui. Experts et autorités doivent véhiculer des messages cohérents pour les citoyens et les professionnels de santé.



© Coll privée

3 questions à...

Marie Baille

Ingénieure en chef du génie sanitaire à la direction générale de la santé (DGS)



© Andrey Barodulin/AFP

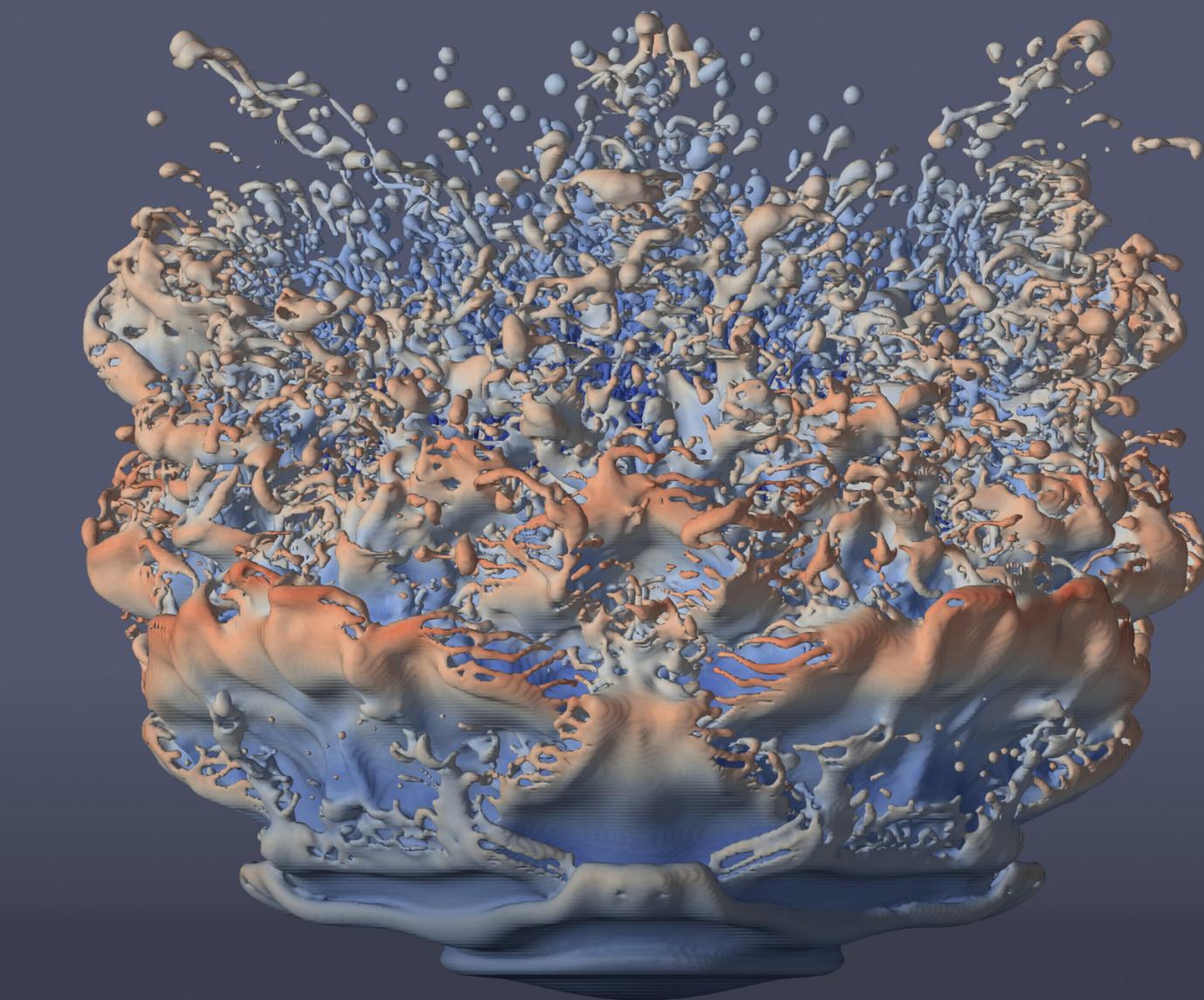
La centrale de Zaporizhzhya, au cœur du conflit armé, est la plus grande en Europe et la dixième plus grande dans le monde.

AILLEURS

Ukraine : une coopération renforcée entre la France et l'Allemagne

Risques radiologiques liés aux installations nucléaires ukrainiennes, possibles fuites, conséquences potentielles... « Dès le début de la guerre, les experts du Bureau fédéral de protection des radiations [BFS, Allemagne] et ceux de l'IRSN communiquent de façon très fréquente, confie Florian Gering, responsable de l'organisation de crise du BFS. Nous échangeons des mesures de débit de dose gamma issues de stations installées sur nos ambassades respectives. » Ces échanges sont précieux pour le BFS.

« Ils nous permettent de confronter notre analyse à un point de vue externe, considère-t-il. L'IRSN nous fournit des données quand les mesures de débit de dose gamma de notre ambassade manquent à la suite des problèmes techniques. » Le BFS souhaite faire de cette coopération renforcée – initiative des employés des deux organismes – une procédure standard pour tout événement radiologique futur. Elle impliquerait des échanges réguliers entre des scientifiques des deux institutions.



4 mm de diamètre.

Fragmentation explosive

Renaud Meignen

Chercheur en mécanique des fluides

S'agit-il de l'explosion d'un macaron à la violette ou d'un tableau peint avec la technique d'empâtement ? Ni l'un ni l'autre. Ce visuel est une simulation numérique de la fragmentation d'une goutte de corium surchauffée – mesurant à peine 4 mm de diamètre – dans l'eau. Les couleurs sont liées à la vitesse : plus elles tendent vers l'ocre, plus la vitesse relative par rapport à l'eau est élevée.

Quatre scientifiques spécialisés en mécanique des fluides au Laboratoire d'étude de la physique du corium (LEPC), situé à Cadarache

(Bouches-du-Rhône), étudient cette fragmentation. Pourquoi de tels travaux ?

L'un des risques importants lors de la fusion du cœur d'un réacteur nucléaire est l'interaction explosive entre le corium – mélange de combustible et de matériaux de structure en fusion pouvant atteindre 2 800 °C – et l'eau. Un jet de corium s'échappe de la cuve du réacteur, se fragmente en gouttes au contact de l'eau et peut provoquer une explosion.

Les chercheurs tentent de mieux comprendre cette fragmentation pour modéliser l'explosion. L'objectif est à terme une meilleure

gestion de ce type d'accident afin de prévenir le phénomène et d'identifier les moyens pour en limiter les conséquences. Les résultats amélioreront les capacités prédictives du logiciel de thermohydraulique Multi-component 3D (MC3D).

Ces travaux s'inscrivent dans le projet Interaction corium-eau (ICE), associant l'IRSN, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et le Laboratoire énergies et mécanique théorique et appliquée de l'Université de Lorraine, avec le support d'EDF et de Framatome. ■

DOSSIER

L'IRM-Linac – un accélérateur linéaire, couplé à l'IRM – est utilisé pour traiter le cancer. Aurélie Petitfils, physicienne médicale au Centre régional de lutte contre le cancer Georges-François Leclerc à Dijon (Côte-d'Or), et Louis Ermeneux, doctorant en physique médicale à l'IRSN, installent un détecteur. Placé dans une cuve d'eau, il mesure des doses pour caractériser le comportement du faisceau d'irradiation. Ce contrôle qualité complexe est effectué tous les mois ou deux mois.



1 mm³

C'est le petit volume qu'irradie l'instrument SARRP (*Small animal radiation research Platform*) chez des souris. Cela permet aux scientifiques d'étudier les mécanismes biomoléculaires à l'origine de la sénescence cellulaire provoquée par la radiothérapie stéréotaxique.

Cancer

Radiothérapie : traiter sans nuire

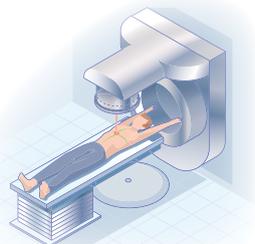
Arme majeure de lutte contre le cancer, la radiothérapie n'est pas dénuée d'effets secondaires pour les patients. Par son expertise et ses recherches, l'IRSN contribue à mieux traiter les malades et à minimiser les séquelles parfois induites par leurs traitements.

EN CLAIR

Radiothérapie : bienfaits et écueils

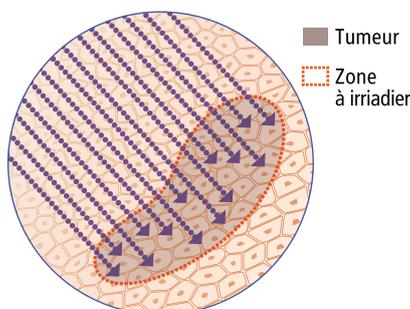
Lors d'une radiothérapie, la tumeur est irradiée par des rayonnements ionisants. Ceux-ci peuvent affecter les tissus sains avoisinants. Des recherches et des expertises contribuent à limiter ces dégâts.

1 L'accélérateur de particules envoie des faisceaux de rayonnements. Ils suivent les contours de la tumeur tout en limitant la dose administrée aux tissus sains.



Les experts participent aux inspections des accélérateurs et à l'élaboration des bonnes pratiques.

2 Les rayons déposent de l'énergie au niveau des tissus. Leurs molécules sont modifiées : électrons arrachés, liaisons entre atomes brisées... Les cellules sont altérées.



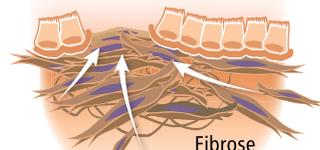
3 Tuer au maximum les cellules tumorales est le but recherché. Des effets indésirables peuvent apparaître au niveau des organes sains touchés : fibrose (rigidification anormale des tissus), cancer radio-induit...



Cellule en apoptose



Cellule nécrosée



Fibrose d'un tissu

Les chercheurs de l'IRSN étudient les dommages des traitements et contribuent à mieux comprendre les effets biologiques de traitements moins nocifs ; radiothérapie stéréotaxique...

Des études épidémiologiques sont menées sur les cancers radio-induits – tumeur cérébrale et leucémie chez l'enfant*... – et contribuent à diminuer leur occurrence.

* L'étude « Cohorte enfant scanner » est disponible sur irsn.fr

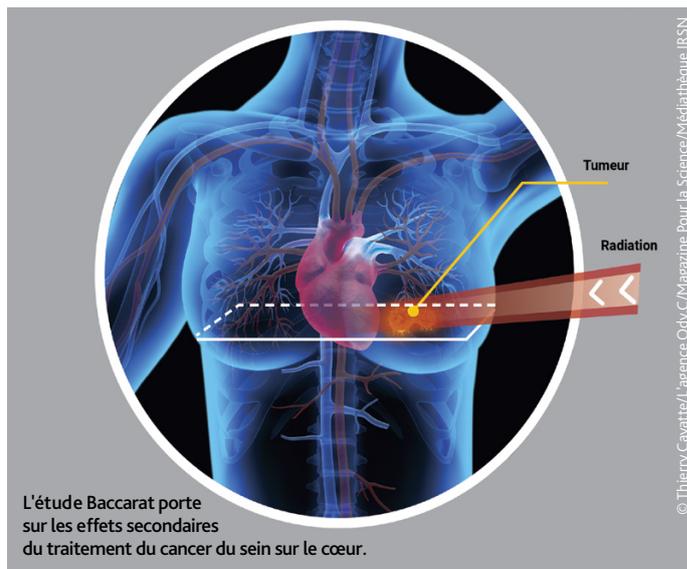
Utiliser des rayonnements ionisants pour attaquer une tumeur, voilà le principe de la radiothérapie (voir infographie ci-contre). « Plus de 50 % de patients atteints de cancer reçoivent une radiothérapie au cours du traitement de leur maladie. C'est le pilier principal de la lutte contre le cancer », rappelle Philippe Maingon, oncologue-radiothérapeute à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière à Paris. Et les techniques évoluent en permanence.

À Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine), les spécialistes de l'IRSN expertisent des traitements et des appareils innovants, contribuant à leur utilisation correcte. Pour mieux protéger les patients, leurs recherches englobent les effets secondaires de l'imagerie médicale afin de limiter les risques de cancers radio-induits. Repères fait le point.

Une évolution rapide des technologies

En 2017, l'Autorité de sûreté nucléaire demande à l'Unité d'expertise en radioprotection médicale (UEM) d'étudier la mise en œuvre des IRM-Linac (lire p. 16). Ces accélérateurs linéaires sont couplés à l'imagerie par résonance magnétique (IRM). En France, l'Institut Paoli-Calmettes à Marseille (Bouches-du-Rhône) est le premier à l'utiliser. Le champ magnétique dû à l'IRM pose question. « Quel est l'impact sur la prise en charge des patients et quel est le contrôle qualité à réaliser ? », Aurélie Isambert, spécialiste en radioprotection médicale, résume les inquiétudes des experts.

L'IRSN forme un groupe de travail avec la Société française de physique médicale (SFPM). En 2017 et 2018, ils auditionnent les fabricants, examinent la littérature et visitent des hôpitaux qui en sont équipés aux Pays-Bas. « Un travail en complémentarité », relate Vincent Marchesi, vice-président de la SFPM. Cette expertise – avis 2018-00232 – compte plusieurs recommandations : ajuster le réglage des accélérateurs à proximité, s'assurer que les physiciens et radiothérapeutes impliqués possèdent des compétences solides en IRM, etc.



“ L'efficacité de la radiothérapie repose sur un équilibre entre bénéfiques et risques.

L'unité s'auto-saisit d'autres sujets. Exemple en 2022 : la radiothérapie Flash. En délivrant la dose en quelques millisecondes au lieu de quelques minutes, cette technique diminuerait les effets secondaires aux tissus sains pour un contrôle équivalent de la tumeur. « Nous suivons des avancées relatives à cette technique pour être prêts le jour où notre avis sera requis », indique l'experte.

Estimer l'exposition des tissus sains

Minimiser les effets indésirables des traitements sur les tissus sains est une préoccupation de la radiothérapie. Elle est au cœur du plan de traitement établi en amont par les physiciens médicaux. « Il vise à garantir une distribution de dose au plus près de la tumeur », précise Philippe Maingon. Problème : « Les modèles de calcul servant à l'établir ne prennent pas en compte l'ensemble de l'irradiation », pointe Christelle Huet, chercheuse au Laboratoire de dosimétrie des rayonnements ionisants (LDRI), à Fontenay-aux-Roses. Ils intègrent le faisceau de rayonnement, mais pas celui diffusé, ni les fuites au niveau de la tête de l'appareil. Or cette irradiation non contrôlée pourrait augmenter le risque de cancers radio-induits à l'âge adulte chez des enfants traités par radiothérapie.

Pour mieux l'estimer et comparer différentes techniques de radiothérapie pédiatrique, la doctorante en radiophysique médicale au LDRI Julie Colnot conçoit en 2019 un outil expérimental : un fantôme 3D équipé de films noircissant en fonction de l'irradiation. « Il permet d'évaluer la dose reçue par les tissus sains », détaille Christelle Huet. Julie Colnot

730 patients

sont suivis par des études épidémiologiques de l'IRSN pour mieux caractériser les effets secondaires de la radiothérapie pour des cancers du sein, de la thyroïde, du cerveau*.

* Études Baccarat, Early-Heart, Start, Radio-Aide et EpibrainRad.

développe aussi un outil évaluant les doses aux tissus sains délivrées par le Cyberknife, un appareil de radiothérapie administrant des doses élevées avec une précision inférieure au millimètre. Il simule les faisceaux depuis leur production, jusqu'à leur absorption par les tissus.

Effets différés

L'évaluation des doses aux tissus sains proches de la tumeur est essentielle pour caractériser les effets secondaires pouvant se manifester des années après la radiothérapie. Le cœur est ainsi à risque dans la radiothérapie du cancer du sein. À partir de 2015, l'IRSN conçoit et pilote l'étude Baccarat¹. Elle suit pendant deux ans 118 femmes traitées pour ce cancer à la clinique Pasteur à Toulouse (Haute-Garonne). Baccarat évalue la survenue d'anomalies cardiaques asymptomatiques, dites infracliniques.

Pour élargir sa portée, la chercheuse collabore en 2017 à l'étude européenne multicentrique Medirad Early-Heart. Espagne, Portugal, Pays-Bas, Allemagne : quatre autres pays sont impliqués, soit 250 patientes en tout. Les premiers résultats révèlent une dysfonction de contraction du myocarde en lien avec l'exposition de cœur et du ventricule gauche. « Ils plaignent pour un suivi renforcé de la fonction cardiaque après thérapie et une dosimétrie du cœur entier et de ses sous-structures : ventricule gauche... Cela pourrait améliorer la prévention », conclut l'épidémiologiste Sophie Jacob.

Pour élargir les connaissances, les épidémiologistes initient deux études. Radio-Aide² porte sur la toxicité neurologique potentielle de la radiothérapie du cerveau : 250 patients de la cohorte EpibrainRad³ traités pour un gliome – tumeur du cerveau ou de la moelle épinière – sont suivis. Start⁴, évalue le risque de complications salivaires chez les patients atteints d'un cancer de la thyroïde traités à l'iode radioactif. Les premiers résultats sont attendus respectivement en 2025 et 2023.

EN CLAIR

Radiothérapie : prévenir des risques à chaque étape du traitement

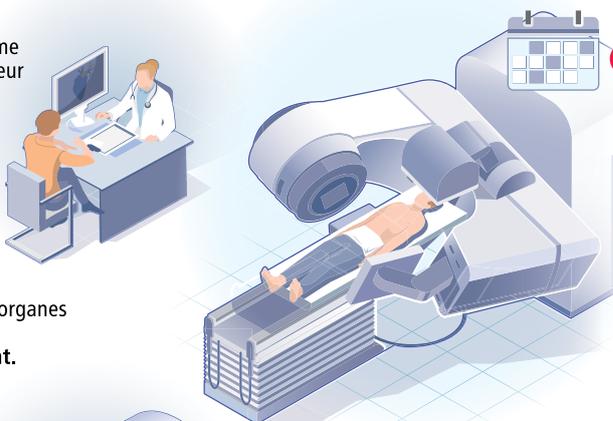
Un patient doit être traité par radiothérapie pour un cancer de la prostate. Tout au long du traitement, l'IRSN veille à réduire les risques pour ce patient.

- 1** Lors de la première consultation, l'oncologue-radiothérapeute vérifie que Gabriel R. ne présente aucune contre-indication et s'assure que le dossier d'évaluation de la maladie est complet.

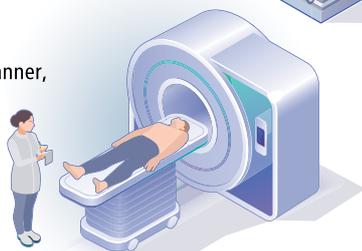


- 2** En fonction du stade, du volume et de la localisation de la tumeur de Gabriel R., l'oncologue-radiothérapeute prescrit la dose de rayonnements pour la traiter et définit la dose limite aux organes sains à ne pas dépasser.

L'IRSN mène des recherches pour mieux évaluer la relation entre les doses reçues par les organes sains et les éventuels effets indésirables post-traitement.



- 3** Gabriel R. passe un scanner, qui permet de définir les volumes à traiter et ceux à protéger.



- 4** Le physicien médical propose une balistique individualisée pour optimiser la délivrance de la dose à la tumeur en préservant les organes sains avoisinants : vessie, rectum et articulations de la hanche.



- 6** Après le traitement, des rendez-vous de suivi sont prévus avec le praticien pendant plusieurs années.

L'IRSN mène des études épidémiologiques pour caractériser l'apparition d'effets nocifs radio-induits à long terme. D'autres recherches portent sur les mécanismes moléculaires impliqués.

- 5** Le traitement commence, assuré par le manipulateur radio. La technique de radiothérapie dite hypo-fractionnée est utilisée. Le protocole est défini sur mesure pour Gabriel R. But : baisser le nombre de séances. Mais la dose par séance sera plus forte.

L'IRSN étudie les techniques de radiothérapie innovantes pour garantir la radioprotection des patients. Ses recherches portent notamment sur les effets biologiques des fortes doses.

Comprendre les mécanismes biologiques menant aux lésions radio-induites est crucial.

La radiothérapie stéréotaxique, prometteuse notamment pour les cancers du poumon, délivre une dose plus forte qu'un traitement conventionnel sur une zone de quelques millimètres. Par exemple, 60 grays sont délivrés en trois séances au lieu de trente séances en fraction de 2 grays. « Il y a peu de données sur la réponse de petits volumes de tissus sains irradiés à forte dose par fraction », observe Fabien Milliat, spécialiste en radiobiologie.

Mécanismes moléculaires

Pour analyser les effets de ce type d'irradiation, son équipe utilise depuis 2015 un dispositif préclinique, qui reproduit chez la souris des lésions proches de celles des humains. Elle s'intéresse à la sénescence* – le vieillissement accéléré des cellules – affectant ces lésions et les processus menant à des dysfonctions de type fibrose, dues aux durcissements d'organe. L'enjeu : trouver des cibles thérapeutiques visant la sénescence radio-induite ou de la réponse immunitaire, pour *in fine* limiter les effets secondaires. ■

* Soysouvanh F et al (2020) *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 106, 1017-27.

1. Breast Cancer and Cardiotoxicity induced by Radiotherapy, www.irsn.fr/etude-baccarat
2. Radiation-induced neurotoxicity assessed by spatio-temporal modelling combined with artificial intelligence after brain radiotherapy, disponible sur www.health-data-hub.fr
3. Study of Neurological Complication After Radiotherapy for High Grade Glioblastoma www.irsn.fr/epibrainrad
4. Salivary dysfunction after radioiodine treatment www.irsn.fr/etude-start

WEBMAGAZINE



À LIRE
Exposition médicale : évaluer le risque pour l'enfant à naître

www.irsn.fr/R46



À LIRE
Radiothérapie pulmonaire stéréotaxique : recherches pour mieux comprendre

www.irsn.fr/R52

www Pour en savoir plus : Anticiper les effets secondaires des nouvelles techniques de radiothérapie, Pour la science, 2020. www.irsn.fr/actu-pls3

Examens radiologiques : caractériser et prévenir le risque

De nombreux examens recourent aux rayonnements ionisants. Grâce à des baromètres des pratiques, des études épidémiologiques et des expertises, l'IRSN contribue à la prévention des cancers radio-induits.

Moins de 1 % des cancers chez l'adulte sont imputables aux rayonnements ionisants utilisés à des fins diagnostiques en France métropolitaine. À titre de comparaison, le tabagisme – la principale cause de cancer dans notre pays – est responsable de 20 % des cas¹. Même s'ils constituent un facteur de risque marginal, les examens médicaux utilisant des rayonnements font l'objet d'une attention constante. Pour la radiologie conventionnelle, le scanner et la mammographie, l'Institut établit tous les cinq ans le rapport « Exposition de la population aux rayonnements ionisants liée aux actes diagnostiques médicaux » (Expri)². Il fait le bilan des actes diagnostiques effectués et des doses associées, à partir d'un échantillon représentatif, environ 700 000 bénéficiaires de l'assurance maladie. Le dernier date de 2017. « Cette année-là, 45 % de la population française a eu recours à au moins un acte diagnostique utilisant les rayonnements », détaille Célian Michel, expert en radioprotection médicale à l'IRSN. Par rapport à la précédente étude de 2012, la dose efficace – grandeur indiquant le degré d'exposition du corps humain à des rayonnements ionisants – par individu reste stable, autour de 1,5 mSv/an. » C'est environ un tiers de la dose reçue annuellement par un Français.

Optimiser l'exposition

Bien que ce niveau d'exposition reste faible (voir webmag), l'IRSN veille à sécuriser l'imagerie pour les millions de personnes qui en bénéficient chaque



La prévention des cancers radio-induits par des examens médicaux fait l'objet de recherches. Une attention particulière est portée aux enfants.

année. Cela passe par l'application de deux des trois grands principes de la radioprotection : la justification et l'optimisation de l'acte diagnostique. « Le troisième pilier – le principe de limitation de la dose – ne peut pas être appliqué aux personnes ayant un examen radiologique. La justification et l'optimisation doivent être mises en œuvre d'autant plus rigoureusement », souligne Julie Sage, experte en radioprotection médicale.

Pour s'assurer que les examens d'imagerie médicale sont réalisés avec la juste dose, les professionnels de santé s'appuient sur les niveaux de référence diagnostiques (NRD). Ces indicateurs dosimétriques sont établis par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) pour les actes les plus courants et les plus irradiants (lire p. 15). Ils permettent aux professionnels de comparer leurs pratiques à une référence nationale et d'engager des actions d'amélioration. Les centres médicaux sont tenus d'évaluer annuellement les doses délivrées à leurs patients et de transmettre les données d'exposition correspondantes. L'Institut analyse les données transmises à l'échelle

nationale et publie un bilan triennal des résultats. L'IRSN propose ensuite des recommandations d'évolution de la réglementation relative aux NRD. « Depuis quelques années, les NRD des systèmes d'imagerie médicale diminuent, constate Célian Michel. Les algorithmes de reconstruction d'image plus performants et l'optimisation des pratiques des professionnels, contribuent à cette baisse. »

Contrôle qualité

La maîtrise de la dose générée par les appareils passe aussi par des contrôles de qualité réglementaires. L'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM) définit leurs modalités, notamment avec l'aide de l'IRSN. Des organismes accrédités par le Cofrac, externes aux centres d'imagerie, assurent un ou deux contrôles par an.

À lui seul, le scanner contribue aux trois quarts de l'exposition diagnostique globale des Français. Les enfants font l'objet d'une attention particulière de l'Institut. « Ils ont une plus grande radiosensibilité que les adultes et ils ont devant eux plus d'années

à vivre. Cela augmente leur risque de cancer radio-induit, qui survient parfois des dizaines d'années après l'exposition », justifie l'épidémiologiste Marie-Odile Bernier, chargée de la cohorte « Enfant Scanner » à l'Institut.

Vigilance chez l'enfant

Cette étude concerne 103 015 enfants âgés de 0 à 15 ans, exposés entre 2000 et 2010 à au moins un scanner avant l'âge de 10 ans. La dose délivrée à leurs organes est calculée à partir des données dosimétriques recueillies au moment du diagnostic. Elle était respectivement de 23 mGy et de 8 mGy en moyenne pour le cerveau et la moelle, pour un scanner de la tête³. Les résultats publiés en 2022⁴ révèlent une augmentation du risque de tumeur cérébrale pour le scanner du crâne (+ 6 %), et de leucémie pour celui de la moelle osseuse (+ 16 %) tous les 10 mGy.

Le pendant européen de ce travail – l'étude Epi-CT⁵ –, auquel l'Institut prend part, quantifie ce risque, faible, plus précisément grâce au million d'enfants inclus. « On estime que, tous les dix ans, cinq tumeurs cérébrales sont attribuables à une année de scanners pédiatriques en France, détaille Klervi Leuraud, épidémiologiste spécialiste des rayonnements ionisants. Dans le même laps de temps, 3 000 tumeurs sont diagnostiquées parmi les 15 millions d'enfants âgés de 0 à 15 ans, soit environ 300 par an. »

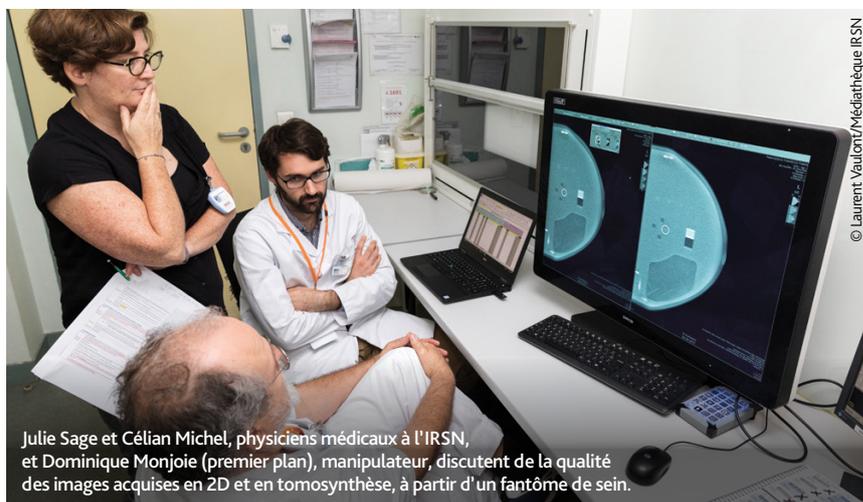
L'évolution du nombre de scanners chez l'enfant est surveillée. Un rapport⁶ indique que le recours à cet examen est resté stable entre 2012 et 2018 : en moyenne 14 actes pour 1 000 enfants. Dans le même temps, l'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique (IRM), quant à elle non irradiante, a augmenté de près de 60 %, signe que la radioprotection est une préoccupation partagée par de nombreux professionnels de santé. ■

1. Source, étude du Centre international de recherche sur le cancer, 2018.
2. Grandeur indiquant le degré d'exposition du corps humain à des rayonnements ionisants.
3. Le cerveau n'est pas très radiosensible. Cette localisation cancéreuse est cependant étudiée car il s'agit d'un des cancers les plus fréquents de l'enfance.
4. Anaïs Foucault et al. (2022), *Eur Radiol* 32, 5491-8.
5. Lancée en 2011, Epi-CT réunit des données sur des enfants issus de neuf cohortes européennes, dont « Enfant Scanner », et se focalise sur le risque de tumeur cérébrale associé au scanner de la tête.
6. Actes scanner chez les enfants en France sur la période 2012-2018 et exposition radiologique associée www.irs.fr/rapport-expri-enfant-2012-2018

www Pour en savoir plus :
Rapport Exposition de la population aux rayonnements ionisants liée aux actes diagnostiques médicaux, 2017
www.irs.fr/rapport-expri-2019

PROCESS

Niveaux de référence diagnostiques De nouvelles recommandations



Julie Sage et Célian Michel, médecins médicaux à l'IRSN, et Dominique Monjoie (premier plan), manipulateur, discutent de la qualité des images acquises en 2D et en tomosynthèse, à partir d'un fantôme de sein.

La tomosynthèse est de plus en plus utilisée pour l'imagerie du sein¹. En 2021, elle ne dispose d'aucun niveau de référence diagnostique (NRD). Or ces derniers aident les praticiens à ajuster les doses délivrées lors des examens. Pour combler cette lacune, l'IRSN enquête entre mars et juillet 2021 auprès des professionnels. Avec des sociétés savantes*, l'Institut recueille les données de 3 009 patientes issues de 44 installations.

Dans ce type d'imagerie, plus l'épaisseur du sein comprimé est importante, plus la dose délivrée est élevée. « Pour une bonne représentativité des différentes épaisseurs, nous préconisons de recueillir des doses pour au moins cinquante patientes par installation », expose Julie Sage, experte en radioprotection médicale.

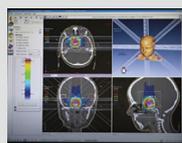
En appliquant ce principe au corpus de données collectées durant l'enquête, l'IRSN recommande de fixer le NRD pour une acquisition de tomosynthèse à 2,3 mGy. Il est déduit du 75^e centile² de la distribution des doses émises par ces 44 appareils.

En parallèle, une expertise est menée pour la mammographie numérique 2D directe, la plus utilisée pour le dépistage. Elle concerne 5 300 patientes et 77 appareils. Une nouvelle définition de NRD prend mieux en compte la diversité anatomique des femmes, sur le même principe de recueil que pour la tomosynthèse. L'IRSN recommande de fixer ce NRD à 1,7 mGy.

1. La tomosynthèse mammaire reconstitue différents plans du sein à diverses profondeurs (pseudo 3D) à partir d'images obtenues sous différentes projections.
2. 75 % des médianes des doses par installation sont inférieures à la valeur de NRD recommandée pour ce type d'examen.

* Société française de radiologie, Fédération nationale des médecins radiologues, Société d'imagerie de la femme, Société française de sénologie et de pathologie mammaire, Association française du personnel paramédical d'électroradiologie, Société française de physique médicale.

WEBMAGAZINE



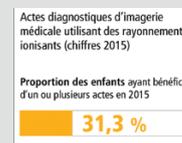
À LIRE
Recherche en radiothérapie
www.irs.fr/R36



À LIRE
La radioprotection en radiologie interventionnelle
www.irs.fr/R39



VIDÉO
L'exposition radiologique liée à l'imagerie médicale
www.irs.fr/R58



INFOGRAPHIE
Exposition des enfants dans un contexte médical
www.irs.fr/R46

À LIRE Cristallin : les yeux sous haute radioprotection www.irs.fr/R22



Photoreportage : ©Sophie Brändström/Signatures/Médiathèque IRSN

REPORTAGE Couplant accélérateur linéaire et IRM¹, l'IRM-Linac promet des radiothérapies mieux ciblées et adaptatives. Une thèse vise à améliorer la connaissance des doses délivrées. Reportage en Côte-d'Or, à Dijon.

Radiothérapie innovante

Mieux connaître la dose délivrée



Avec son tunnel de 2,20 m de long, l'IRM-Linac en impose. Installé au Centre régional de lutte contre le cancer Georges-François Leclerc (CGFL), à Dijon en Côte-d'Or, il réunit deux technologies. Son IRM 0,35 tesla² aide à visualiser les tumeurs et l'accélérateur les irradie. Contrairement au guidage par scanner, « cette imagerie n'est pas ionisante », observe Louis Ermeneux, doctorant en physique médicale au Laboratoire de dosimétrie des rayonnements ionisants à Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine).

Grâce à des acquisitions IRM avant et pendant le traitement, les équipes suivent les mouvements de la tumeur. Les bénéfices attendus : une irradiation plus ciblée et un traitement délivré que lorsque la tumeur est dans l'axe du faisceau.

Mais le recul manque sur cette technologie. Le champ magnétique influence la trajectoire des particules chargées et donc la distribution de dose. Comment quantifier son impact et sa prise en compte dans le logiciel de préparation des traitements ? S'assurer qu'il n'altère pas la réponse des détecteurs mesurant les données dosimétriques ?

En 2018, le rapport IRSN 2018-00007 auquel prend part Auréliette Petitfils, physicienne médicale au CGFL, soulève ces points.

La thèse de Louis Ermeneux doit y répondre. « *Nous avons besoin de dosimètres précis pour reconstituer la dose en 3D*, expose-t-il, montrant un flacon au contenu pourpre. *La dosimétrie par gel³ est prometteuse.* » Les modifications chimiques du matériau sont proportionnelles à la dose délivrée. Son changement de couleur, lisible par scanner optique, est inadapté à la clinique. Ce protocole fonctionne pour des petits volumes. Or le volume d'un foie ou d'un pancréas est gros. L'autre moyen pour lire ces modifications chimiques est l'IRM. Pourquoi ne pas exploiter celui de la machine ? « *Nous étudions la possibilité de lire ces gels et de reconstituer la dose avec l'IRM de cet appareil, moins puissant que les IRM utilisés en radiologie* », indique le docteur. Publications prévues en 2024. ■

1. Imagerie par résonance magnétique.

2. L'image est plus détaillée avec un champ magnétique plus fort.

3. Gel de Fricke utilise une solution ferreuse comme dosimètre.

1 Auréliette Petitfils, physicienne médicale au Centre régional de lutte contre le cancer Georges-François Leclerc, et Louis Ermeneux, doctorant en physique médicale à l'IRSN, installent un détecteur de l'IRM-Linac. Placé dans une cuve d'eau, il mesure des doses pour caractériser le comportement du faisceau. Ce contrôle qualité est réalisé tous les mois ou deux mois. Un contrôle quotidien, plus léger, vérifie la constance de l'étalonnage de l'accélérateur.

2 La physicienne et le doctorant visualisent les images 3D d'IRM d'un fantôme, cube contenant du gel dosimétrique. Ils montrent les distributions de dépôt de dose, prévus par le système de planification de traitement.

3 Pendant la radiothérapie, l'IRM-Linac fait des acquisitions IRM, comme celle pointée par Auréliette Petitfils. Un logiciel suit les mouvements de la tumeur. Il guide l'accélérateur linéaire afin qu'il ne délivre le faisceau de rayons X que lorsque la tumeur est en coincidence avec ce faisceau.

4 Pour des tumeurs de l'abdomen, qui bougent en fonction de la respiration et du mouvement des intestins, les traitements sont adaptatifs. En fonction des mouvements de la lésion, les physiciens médicaux recalculent la dosimétrie et adaptent le plan de traitement. Zoom sur le logiciel de planification de traitement.

■ BIBLIOGRAPHIE

Rapport n° PSE/
SANTE/2018-00007

Avis 2018-00232

Avis IRSN 2021-00193



En 2017, un exercice de crise à Flamanville (Manche) réunit les experts de l'Institut et les sapeurs-pompiers.

Exercice de crise

Prendre des mesures pour protéger la population

L'ESSENTIEL En cas de rejet radioactif accidentel d'une installation nucléaire, des équipes de l'IRSN et des sapeurs-pompiers sont déployées sur le terrain. Elles réalisent des prélèvements et des mesures. But : établir un état de l'environnement pour déterminer les périmètres où appliquer des mesures de protection. **TÉMOIGNAGE** Une capitaine des sapeurs-pompiers. **DÉCRYPTAGE** Quelles investigations sont réalisées près du site accidenté ? **AVIS D'EXPERT** Une ingénieure en radioprotection.



Stéphanie Duquesne

Service départemental d'incendie et de secours, Seine-Maritime : chef de service au sein du groupement formation et activités physiques et référent départemental en risques radiologiques.

TÉMOIGNAGE "Les exercices servent à tester la coordination entre les acteurs"

“ En cas d'accident sur une installation nucléaire, la mission première des sapeurs-pompiers est de protéger la population. La priorité est donnée à la gestion des établissements sensibles, tels ceux accueillant des personnes âgées dépendantes.

En tant qu'officier référent pour le risque radiologique, je suis chargée d'installer et de superviser le secteur du poste de commandement dédié aux mesures protégeant la population et l'environnement contre les rayonnements ionisants. Il est constitué de sapeurs-pompiers formés pour intervenir en zone contaminée, dotés des équipements adaptés : tenue avec masque à cartouche retenant l'iode et d'autres particules radioactives, débitmètres...

Dès le déclenchement du plan d'urgence par la préfecture, cette structure est déployée à proximité du site. Après l'arrivée des experts de l'IRSN, nous collectons

ensemble des échantillons – terre, végétaux, eau – et aidons à installer les balises détectant la radioactivité dans l'air en temps réel.

En équipe avec les experts

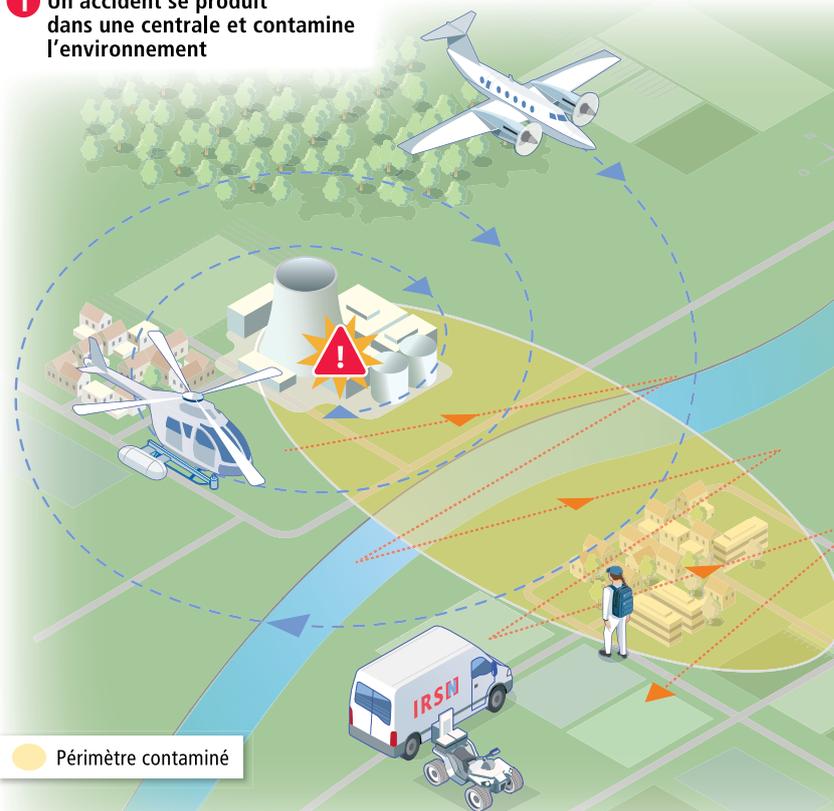
Ces équipes mixtes sont gérées par des officiers référents, disposant des formations de niveaux chef de cellule mobile d'intervention radiologique ou conseiller technique risques radiologiques. Les sapeurs-pompiers assistent l'IRSN pour évaluer la contamination externe des personnes qui ont pu être exposées aux radiations.

Plusieurs exercices simulant un accident nucléaire sont organisés chaque année. But : tester la coordination entre les acteurs de la gestion de crise, dont le service départemental d'incendie et de secours (Sdis). Les sapeurs-pompiers spécialisés en risques radiologiques suivent des formations annuelles pour maintenir leurs acquis.” ■

Rejet accidentel : à quoi servent les mesures dans l'environnement ?

Pour déterminer la de protection des l'IRSN déploie des avec les pompiers

1 Un accident se produit dans une centrale et contamine l'environnement



● Périmètre contaminé

2 La cellule mobile de l'IRSN entre en action

• La cellule mobile est composée d'experts de l'IRSN et de moyens de mesure et d'analyse. En lien avec les sapeurs-pompiers, l'IRSN coordonne la stratégie de mesure dans l'environnement et y contribue sur le terrain.



Le véhicule laboratoire dispose d'outils d'analyse :

- Spectrométrie gamma
- Compteur par scintillation liquide
- Spectrométrie alpha

La zone d'éloignement des populations est délimitée en un à deux jours.

Obtenir une vue d'ensemble des dépôts radioactifs

Système de spectrométrie gamma couplé à un GPS embarqué à bord d'un avion. Survol de la zone dans un rayon de 40 km autour du site. Objectif : dresser une première cartographie des dépôts.

Définir une première évaluation de la zone d'éloignement

Analyse spectrométrique renouvelée à plus basse altitude depuis un hélicoptère, en se focalisant sur les secteurs où les dépôts ont été identifiés.

Confirmer sa délimitation depuis le sol

Système de spectrométrie gamma à bord de véhicules – voitures, quad – ou à dos d'homme dans un sac-à-dos.



Le véhicule laboratoire de l'IRSN est équipé de spectrométrie gamma.

© Arnaud Bouissou/MEDDE/Médiathèque IRSN

ÉMETTEURS α MESURÉS IN SITU

Les radionucléides émetteurs alpha, dangereux par inhalation ou ingestion – uranium, plutonium – peuvent être rejetés dans l'environnement par une installation du cycle du combustible accidentée. Auparavant, les véhicules laboratoires de l'IRSN se rendant près d'un site accidenté pour mesurer ces émetteurs réalisaient des mesures d'activité totale. Mais sans identifier ni quantifier les radionucléides et les isotopes concernés. Depuis 2022, ils emportent un système de spectrométrie alpha qui permet une quantification. Ce dispositif est testé en 2022.

MAINTIEN DES COMPÉTENCES

Une dizaine d'exercices de sûreté nucléaire est organisée chaque année. Ils mobilisent : experts du centre technique de crise (CTC) et de sa cellule mobile, sapeurs-pompiers, représentants de la préfecture, gendarmes... L'objectif : tester l'organisation décrite dans le plan particulier d'intervention (PPI)*. * Élaboré par l'État, le PPI prépare et organise la réponse des pouvoirs publics.

AVIS D'EXPERT



© Célia Gourmand/Médiathèque IRSN

Élise Crosland

Ingénieure en radioprotection

Équipier de crise : un engagement personnel et familial

“ Un vivier d'environ cent équipiers de crise volontaires compose la cellule mobile de l'IRSN.

La majorité d'entre eux participe au dispositif d'astreinte. Chacun doit rester joignable en dehors des horaires de travail et pouvoir rejoindre son lieu d'affectation en moins d'une heure. En cas de crise réelle, leur mission sur les territoires contaminés peut durer plusieurs jours. Nous l'évoquons dès leur recrutement. Il est essentiel d'en parler avec les proches. Si un accident se produit, un équipier constitue au plus vite une équipe d'une trentaine d'experts aptes à caractériser la radioactivité dans l'environnement. À partir d'un point de regroupement, l'équipe rejoint le périmètre proche du site accidenté. Pour devenir équipier de crise, il faut une vingtaine d'heures de formation sur une année. Les personnels du vivier « Laboratoires mobiles environnement » de la cellule mobile que j'anime sont formés au déploiement et à l'utilisation de moyens de mesure pour l'analyse d'échantillons sur le terrain. Leur formation initiale aborde aussi le rôle de l'Institut au niveau national et le positionnement de l'équipier dans le dispositif de crise local.

CONTACT

Élise Crosland
01 58 35 73 44
elise.crosland@irsn.fr

contamination et établir les périmètres où des mesures populations seraient nécessaires après un rejet radioactif, moyens de mesure près de l'installation. Il travaille en lien et les autorités.

• Des **véhicules laboratoires** et des moyens de transmission des données par satellite sont installés aux abords de la zone contaminée.



• Des mesures à bord de moyens aériens, de véhicules ou à dos d'homme sont entreprises.
• Plusieurs **centaines de prélèvements** sont réalisés : **sol, frottis, produits agricoles**. Pour les denrées, ceci sert à contrôler le respect des normes. Au-delà de 1 250 Bq/kg en césium 137, leur vente est interdite.



3 Le centre technique de crise (CTC) de l'IRSN centralise et exploite les données

Les résultats des mesures effectuées dans l'environnement sont transmis au fur et à mesure.

Les mesures permettent d'évaluer de façon réaliste les doses reçues par les populations.

Tant que la dose annuelle **dépasse 20 mSv**, les populations évacuées auront interdiction de vivre dans cette **zone d'éloignement**. Sont définis également **les périmètres où des mesures de protection s'appliquent** : interdiction de consommer les denrées produites localement ou de mise sur le marché.

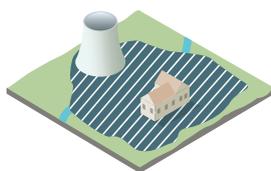


Le CTC est basé dans les Hauts-de-Seine

4 Le préfet décide des mesures de protection

Les cartes des **territoires contaminés et des préconisations à prendre** dans diverses zones pour limiter l'exposition des personnes, sont transmises à la préfecture, au **centre opérationnel départemental**.

À partir de ces éléments et de considérations locales – géographiques, sociales, etc. – discutées avec ses services, **le préfet prend des mesures** de protection post-accidentelles : éloignement, interdiction...



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

DIFFUSION ÉLARGIE DE L'INFORMATION

En cas d'accident, les pouvoirs publics doivent déterminer les territoires contaminés. Les mesures – faites par l'IRSN, les pompiers, l'exploitant, etc. – sont regroupées dans la **base de données Criter**. Créé par l'IRSN, il est mis à disposition de différents acteurs afin de visualiser les **résultats sous forme cartographique**. Une version grand public, développée en 2022, est en test lors des exercices. En 2024, en cas d'accident, l'ensemble des citoyens pourrait y accéder.

CONTACT

Service d'intervention radiologique et de surveillance de l'environnement (Sirsé)
Éric Cogez : eric.cogez@irsn.fr
Tél. : 01 58 35 95 76

POUR ALLER PLUS LOIN

Moyens mobiles destinés à la mesure de la radioactivité dans l'environnement
www.irsn.fr/Moyens-Mobiles-ENV-2018
Pertinence de la doctrine post-accidentelle pour des accidents autres que ceux pouvant intervenir sur un CNPE
<https://irsn.fr/doctrine-post-accident-hors-CNPE>

Partage d'expériences pour la mesure de la radioactivité

Présentations, ateliers... la quatrième Journée de la communauté OpenRadiation permet des échanges. Pour les associations, universités, Clin¹ et acteurs de la culture scientifique engagés dans des projets de sciences participatives, c'est l'occasion d'un partage d'expériences.

1 De quoi s'agit-il ?

« L'idée est de rendre la mesure de la radioactivité ambiante accessible au grand public », résume Yves Lheureux, directeur de l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (Anccli).

OpenRadiation² est un projet participatif visant à constituer une base de données citoyenne. Moyennant l'acquisition d'un capteur et le téléchargement de l'application éponyme sur un smartphone, tout citoyen peut prendre des mesures de radioactivité ambiante, dans le monde entier.

« Cela permet d'aborder le nucléaire de manière dépassionnée, d'atténuer un peu les clivages. Qu'on soit pro, anti ou neutre, on peut faire de la mesure dans l'environnement où on vit », précise-t-il. Le dispositif peut servir en situation

accidentelle : « L'intérêt individuel pour la mesure pourrait alimenter la réflexion globale sur la gestion d'un territoire contaminé », avance Yves Lheureux.

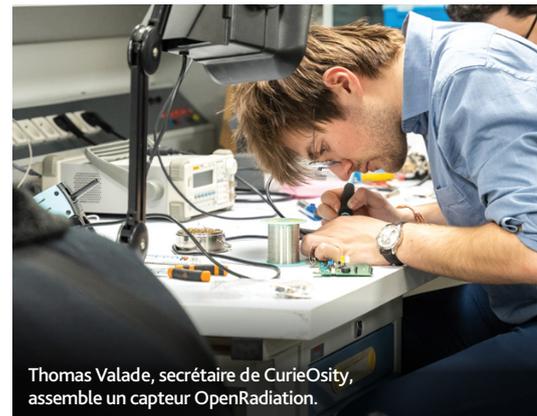
Lors de cette quatrième Journée de la communauté, le 2 février au fablab Sorbonne Université à Paris, la parole est donnée à divers acteurs³ engagés dans les sciences participatives, « pour s'enrichir de leurs expériences et améliorer le dispositif ».

1. Commission locale d'information nucléaire (Clin).
2. Initiative collaborative de cinq organismes : Anccli, IFFO-RME (Institut français des formateurs aux risques majeurs et à l'environnement), IRSN, Planète Sciences et le fablab de Sorbonne Université.
3. Clin du Blayais, Cli de Saint-Laurent-des-Eaux, Cnam, associations Tela Botanica, Caspa, CurieOsity, AEPN (Association des écologistes pour le nucléaire).

2 Qui est concerné ?

Tout citoyen intéressé par la radioactivité naturelle et artificielle, ou par la mesure, peut utiliser le dispositif. La communauté OpenRadiation est en croissance. Une dizaine de commissions locales d'information, relais d'information auprès de la population, dispose de capteurs fournis par l'IRSN. La Clin du Blayais (Gironde) a réalisé quatre-vingts mesures sur le périmètre de son plan particulier d'intervention⁴. « Au-delà des résultats, toujours très bas, ce qui est intéressant, c'est la réaction des gens qui nous voient mesurer, observe Yves Lheureux. Cela ouvre le dialogue. » Nouer des partenariats permet d'engager des communautés. « OpenRadiation nous a fourni des capteurs, témoigne Thomas Valade, secrétaire de l'association de physique de Sorbonne Université CurieOsity. Le projet s'intègre dans nos actions de promotion de la science auprès des étudiants de physique de l'université. Nous montrons que faire de la mesure est à la portée de tous. »

4. Il décrit les moyens techniques et humains, leur organisation et l'information auprès du public à mettre en œuvre en cas d'alerte d'accident nucléaire, dans un périmètre de 20 km autour des centrales.



Thomas Valade, secrétaire de CurieOsity, assemble un capteur OpenRadiation.



« Je vis près d'une installation nucléaire : mesure et risque », un des ateliers de la Journée.

3 Comment sont partagées les données ?

Le site internet – en cours de refonte – centralise les données et les partage via une cartographie dynamique. Des groupes – associations, classes, etc. – peuvent créer des espaces dédiés. OpenRadiation est open source et open data. « *Le “mesureur” est au centre du système, qui est ergonomique, et lui donne de l’information* », décrit Jean-François Bottolier, responsable du projet. La base de données,

consultable par le public, est exploitable par les scientifiques et les experts de l’IRSN, notamment en cas d’accident nucléaire ou radiologique. « *Un des enjeux est de penser les interactions entre divers domaines de compétences* », relève Maryse Carmes, chercheuse en science de l’information et de la communication et sociologue de l’innovation qui travaille au Conservatoire national des arts et métiers (Cnam), sur les sciences citoyennes.



Montage des capteurs OpenRadiation.



La Journée de la communauté OpenRadiation en 2023 a réunit un public varié au fablab de la Sorbonne. Evelyne Allain, de l’Institut français des formateurs risques majeurs et protection de l’environnement (à gauche) échange avec Emmanuelle Viora de la Cli de Saint-Laurent-des-Eaux et Laurence Taulou Miroir, de Planète Sciences (en face, de gauche à droite).

4 Quelles difficultés ?

Malgré 230 utilisateurs et plus de 530 000 mesures, OpenRadiation peine à fidéliser. « *Au début, les participants sont motivés. Mais ils réalisent vite que les niveaux de radioactivité sont très bas et qu’il n’y a aucune inquiétude à avoir. Ils trouvent moins d’intérêt à la mesure, pointe Yves Lheureux. Il faut générer de l’émulation pour pérenniser l’engagement.* » D’autres acteurs partagent cette difficulté, comme le réseau des botanistes francophones Tela Botanica⁵, précurseurs de la création d’outils participatifs ouverts. « *Les citoyens recueillent des données, c’est bien, mais il faut qu’ils aient un intérêt à le faire* », relève Sophie Vicente de Gouveia, coordinatrice de ces programmes participatifs. « *L’engagement atteint ses limites quand la collectivité, dont relève la communauté citoyenne⁶, s’intéresse peu ou pas au sujet* », pointe Jules Sekedoua Kouadio, membre du consortium Caspa⁷, qui explore la méthodologie des sciences participatives.

5. Projets comme « Sauvages de ma rue », « Observatoire des saisons », etc.

6. Lowry CS et Stepenuck KF (2021), Environ. Sci. Technol.; Westreicher F et al. (2021), PoS (ACSC2020).

7. Capteurs et sciences participatives, projet au croisement de la recherche, de la démocratie participative et de l’innovation technologique.

Reportage photo : © Guillaume Murat / Signatures/Médiathèque IRSN



Projets de sciences participatives portés par Tela Botanica, un réseau de botanistes.

5 Comment fidéliser les citoyens ?

« *Ma première recommandation, c’est de construire un programme avec et pas pour le citoyen. Il doit se sentir concerné et intégré dès le départ, observe Sophie Vicente de Gouveia. Le questionnement initial doit faire sens auprès du public ciblé.* » Elle poursuit : « *Pour le programme “Observatoire des saisons”, nous voudrions créer des outils qui rendraient les citoyens quasiment chercheurs. Ils analyseraient des données, tireraient des conclusions pour instaurer des actions de sensibilisation ou de protection de la flore.* »

Pour stimuler la participation, le nouveau site d’OpenRadiation propose un forum, un espace pour organiser des mesures... une refonte initiée par des échanges avec Tela Botanica. OpenRadiation prend aussi part au programme Caspa, pour mieux penser l’interdisciplinarité. « *Il faut aller vers une plus grande coopération et moins de fragmentation entre les disciplines. Sur la radioactivité, il y a une coopération à mettre en place* », remarque Maryse Carmes. Caspa devrait aboutir à une méthodologie pour les porteurs de projets en métrologie citoyenne.

Pièges à iode

Vers des tests sans radioactivité

Éviter des relâchements de radioactivité dans l'air lors de tests des pièges à iode des installations nucléaires. C'est l'objectif des recherches menées au sein d'un riche arsenal expérimental. Reportage dans l'Essonne, dans les locaux de l'installation expérimentale Persée.

Captateurs de pression, de température et d'hygrométrie, débitmètres, passeur d'échantillons pour les mesures par spectrométrie gamma, chromatographie en phase gazeuse, dispositifs d'adsorption, balises de surveillance atmosphérique... La plateforme Persée – Plateforme expérimentale de recherche sur l'épuration des effluents radioactifs – impressionne par son instrumentation riche et imbriquée.

Des spécialistes cherchent comment limiter les rejets d'iode radioactif vers l'environnement, notamment son espèce la plus pénétrante, l'iodure de méthyle ? Inhalé ou ingéré, il se fixe sur la thyroïde et peut provoquer des cancers de cette glande.

Charbons actifs

Pour limiter sa dissémination dans l'environnement, les installations nucléaires sont équipées de pièges à iode, composés d'adsorbants de type charbons actifs. Placés au sein des réseaux de ventilation, ils limitent les rejets d'espèces iodées volatiles – notamment l'iodure de méthyle – dans des conditions normales ou dégradées de fonctionnement. Ces pièges reposent sur trois mécanismes. Le premier est physique : l'iode est piégé dans les micropores de l'adsorbant. Par le second – chimique –, l'iodure de méthyle présent réagit sélectivement avec la triéthylènediamine (TEDA) qui imprègne le charbon actif. Le troisième est l'échange isotopique : l'iode radioactif provenant de l'iodure de méthyle permute avec l'iode stable de l'iodure de potassium qui entre dans la composition du filtre.

Ces pièges sont contrôlés périodiquement, pour vérifier leur efficacité de rétention et la comparer à une valeur de référence réglementaire, déterminée au préalable par des études de sûreté. « De l'iode radioactif est injecté en amont du matériau filtrant. Des mesures réalisées montrent ce qui sort

en aval », décrit Mouheb Chebbi, spécialiste des méthodes et moyens d'analyse au Laboratoire d'expérimentations sur le comportement des équipements et de la ventilation (Lecev) à Saclay (Essonne).

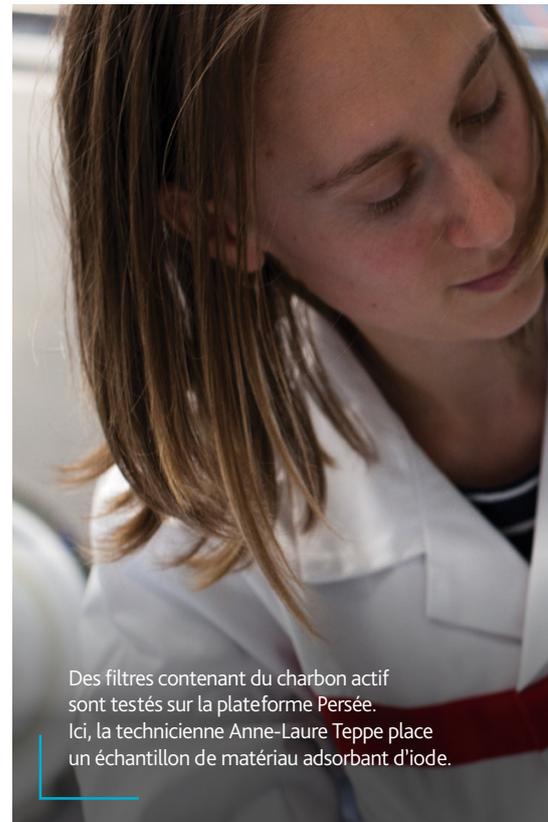
La situation est paradoxale, ce test – censé vérifier le non-relâchement d'iode radioactif – est lui-même source de rejet dans l'environnement. D'où la nécessité de substituer cette procédure par de nouvelles méthodes de tests non radioactifs. La thèse de Hantao Lin¹, soutenue en 2022, explore cette question à fort enjeu de radioprotection et de sûreté.

La première étape consiste à mieux comprendre le piégeage. Sans iode radioactif, plus d'échange isotopique. Dans quelle mesure perd-on alors en efficacité ? Malgré son utilisation massive dans les pièges à iode, la réactivité de l'iodure de potassium dans les charbons actifs – mal connue – est seulement théorique.

Coefficients d'épuration

Pour la caractériser, l'équipe² sonde les performances de vingt charbons actifs commerciaux de différentes compositions : non imprégnés, imprégnés d'iodure de potassium, imprégnés de TEDA, co-imprégnés de ces deux composants... Avec l'installation Persée, les scientifiques réalisent des mesures par spectrométrie gamma pour déterminer les coefficients d'épuration – rapport entre les concentrations d'iode radioactif en entrée et en sortie – des différents charbons. « Pour la première fois, nous avons isolé les rôles joués par l'iodure du potassium et la TEDA », s'enthousiasme Mouheb Chebbi.

Les expérimentations montrent que la TEDA intervient très tôt dans le piégeage et retient l'iode de manière durable dans des conditions très humides. L'iodure de potassium prend le relais quand les premières molécules commencent à être détectées en aval du piège – phase dite de



Des filtres contenant du charbon actif sont testés sur la plateforme Persée. Ici, la technicienne Anne-Laure Teppe place un échantillon de matériau adsorbant d'iode.

percée –, retardant ainsi le rejet radioactif. La prochaine étape consiste à quantifier finement ces réactions et à les incorporer dans un modèle de prédiction des performances d'un piège à iode.

Des travaux initiés depuis 2022 dans le cadre de la thèse de Karim Abbas, spécialisé en chimie analytique. Le modèle fournira un coefficient de sûreté, qui permettra de transposer les essais menés avec de l'iode radioactif à des essais avec celui non radioactif. Parallèlement, l'équipe cherche à développer des méthodes d'analyse chimique très sensibles en sortie de filtre. ■

1. Thèse soutenue en avril 2022.

2. En moyenne composée de trois chercheurs et techniciens, de stagiaires, doctorants ou post-doctorats.



Cheminées et rejets surveillés de près

La cheminée de toute installation nucléaire de base est positionnée en hauteur pour favoriser la dispersion des polluants. Les rejets sont caractérisés de manière périodique. L'objectif est de vérifier que les pièges à iode de l'installation placés, comme cascade ultime, sont toujours efficaces.



Le matériau de mesure

Pour les mesures des coefficients d'épuration des charbons actifs destinés aux centrales, le matériau est d'origine végétale – noix de coco –, co-impregné avec de l'iodure de potassium et de la TEDA. Il se présente sous la forme de grains de 2 à 3 millimètres.



Des contrôles sécurisés

Benoit Marcillaud et Anne-Laure Teppe, techniciens, contrôlent les caissons. Ils contiennent les filtres à aérosols, faisant partie des pièges à iode, partie intégrale du banc d'essai de Persée. Ils portent un masque, en raison du risque d'inhalation de l'iode radioactif, très volatil.

Reportage photo : © Francesco Acerbis/Médiathèque IRSN



Détermination des coefficients d'épuration

Benoit Marcillaud initie dans une boîte à gants la réaction chimique qui va générer l'iode gazeux. Cet iode sera transféré dans le circuit de l'installation Persée. La voie « petits débits », composée de quatre branchements, permet de déterminer les coefficients d'épuration de quatre échantillons de manière simultanée, dans des conditions maîtrisées de température, d'humidité relative, etc. Ces expériences peuvent durer en moyenne 18 heures.

Vue d'ensemble du banc Persée

La boîte à gants dite pulsée, située à gauche, abrite le réacteur pour l'injection de l'iodure méthyle radioactif en vue des tests des coefficients d'épuration sur les charbons actifs ou autres matériaux. À sa droite, la voie dite petits débits. La balise de surveillance atmosphérique – au premier plan – fait partie du dispositif de radioprotection.

Le magazine *Repères* devient 100 % numérique

Pour s'adapter aux nouveaux usages, le magazine de l'IRSN se transforme et devient un média exclusivement en ligne.



Accessible sur smartphone, ordinateur et tablette



Articles régulièrement mis en ligne



Infographies pédagogiques



Rubriques habituelles en un coup d'oeil



Navigation fluide entre les contenus



Accès aux archives

Rendez-vous au mois d'octobre 2023
sur reperes.irsn.fr

Abonnez-vous à la newsletter de *Repères* en scannant ce QR code avec votre smartphone

Contact : reperes@irsn.fr

