

N° 41
AVRIL 2019

Le magazine de l'IRSN

REPERES

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

EN PRATIQUE

Environnement : la radioactivité
mesurée en continu

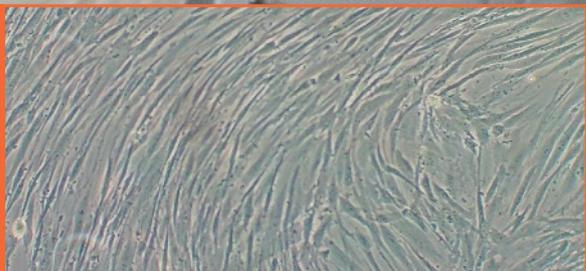
DOSSIER

Recherche et expertise

Une synergie indispensable
à la sûreté et la radioprotection

FAITS ET PERSPECTIVES

Brûlures radiologiques :
des cellules souches qui soignent





De nouvelles installations à explorer

Découvrez en images les recherches menées sur les installations expérimentales de l'Institut grâce à la série « Grand format » sur irsn.fr – rubrique La Recherche. Vous visiterez Amande, accélérateur pour la métrologie et les applications neutroniques en dosimétrie externe, et Mircom, microfaisceau d'ions dédié à la radiobiologie des communications intra- et inter-cellulaires. Développées pour améliorer la radioprotection, ces installations fournissent aux utilisateurs internes et externes, chercheurs et experts, des plateformes pour la caractérisation et l'étalonnage des appareils de mesure.

www.irsn.fr/moyens-experimentaux

Un rapport sur le démantèlement des réacteurs

L'accès aux informations acquises lors des étapes

Agenda

Du 17 au 23 juin 2019

Le Bourget (Seine-Saint-Denis)

Salon international de l'aéronautique et de l'espace (SIAE)

Pour cette 53^e édition du SIAE, l'Institut s'associe à l'Observatoire de Paris. Il présentera ses activités en dosimétrie du rayonnement cosmique et surveillance dosimétrique des personnels navigants (projet SievertPN). Les quatre premiers jours, le salon sera réservé aux professionnels de l'aéronautique et de l'espace. Il ouvrira ensuite ses portes au grand public.

Plus d'information : www.siae.fr/
www.sievert-system.org/

de conception, construction, fonctionnement et démantèlement d'un réacteur est essentiel à un arrêt maîtrisé. Les enjeux en matière de sûreté, de radioprotection et d'environnement du démantèlement des réacteurs à eau sous pression (REP) ont été étudiés par l'IRSN. Les conclusions ont donné lieu à un rapport disponible sur irsn.fr.

www.irsn.fr/demantelement-REP



Enquête sur les répercussions de Fukushima

Quelles sont les conséquences sociales et politiques de l'accident de Fukushima ? Le rapport du projet Shinrai publié en mars analyse la perte de confiance de la population envers les autorités

Du 18 au 20 juin 2019

La Rochelle (Charente-Maritime)

Congrès national de la radioprotection

L'Institut sera présent à la 12^e édition du congrès national organisé chaque année par la Société française de radioprotection (SFRP). Vous y rencontrerez les experts du Service de mesure des expositions aux rayonnements ionisants (Smeri). Des professionnels – médecins, chercheurs et industriels – impliqués dans la protection contre les rayonnements, ionisants ou non, présenteront leurs réflexions et travaux les plus récents.

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

japonaises, l'implication des citoyens après l'accident et les problématiques de retour dans les zones évacuées. Il aborde les dilemmes auxquels ont été confrontés responsables gouvernementaux, médecins et experts en radioprotection. En conclusion, des pistes de réflexion sur les politiques post-accidentelles.

www.irsn.fr/shinrai



Les événements en radioprotection en images

Que sont les événements significatifs en radioprotection (ESR) liés au fractionnement des doses ou à l'étalement d'un traitement de radiothérapie ? Dans la version en ligne du magazine Repères n° 40, une vidéo explique les causes de ces incidents. Elle présente des recommandations pour prévenir les risques associés à ces deux paramètres centraux dans les protocoles médicaux.

www.irsn.fr/r40

1^{er} juillet 2019

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

Séminaire sur la prévention du radon

Risque radon : comment le prévenir en milieu professionnel ? Une journée d'information est organisée par l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) et l'IRSN. Elle est proposée aux seuls préventeurs : conseiller de prévention, ingénieur HSE, médecin du travail et salarié compétent. Parmi les thèmes abordés : le radon, ses effets sur la santé, son évaluation, comment s'en prémunir, les nouvelles exigences de la réglementation...

Inscriptions : <http://www.inrs-irsn-radon2019.fr>

On line WEBMAG

www.irsn.fr/R37

INFOGRAPHIE

- Expertise de la situation accidentelle**
Un patient présente des lésions cutanées des deux à la suite d'une exposition aux rayonnements. C'est la radioprotection qui, dans un contexte d'urgence, a permis de constater et de confirmer l'accident. À partir des constatations, le patient est pris en charge par le service d'urgence pédiatrique de l'Hôpital Percy.
- Prise en charge médicale**
Le diagnostic est confirmé par l'Hôpital Percy, basé sur l'évaluation de la lésion et de la cartographie dosimétrique des ESR, à partir de données de l'accident. Le Docteur Meyer est mobilisé et se rend à l'Hôpital Percy pour assurer la prise en charge du patient.
- Prélèvement de moelle osseuse**
Le chirurgien effectue une ponction de moelle osseuse de cette façon sur le patient.
- Production des cellules souches**
Les cellules souches « en culture conditionnelle » sont mises en culture. Des contrôles pour s'assurer de la qualité du produit de fractionnement sont réalisés avant injection.
- Injection des cellules souches**
Le chirurgien injecte dans les foyers de la moelle osseuse environ 20 millions de cellules souches et repère les cellules souches injectées dans la zone osseuse afin de favoriser la colonisation.

Faits et perspectives

Des cellules souches pour traiter des brûlures radiologiques



Reportage

Les acteurs de la radioprotection à Cyceron



Reportage

Les mesures de radioprotection à Cyceron

Abonnement

POUR VOUS ABONNER :

www.irsn.fr

Rubrique l'IRSN > Publications

> Magazine Repères

Sommaire

En couverture : Mamadou Sow (à dr.), chercheur, et Yohan Leblois (à g.), technicien, tous deux à l'Institut, démontent la cuve d'un évaporateur sur l'installation Disco visant à simuler la fuite massive de produits de fission.

P.4 TEMPS FORTS

Rayonnements ionisants
L'exposition des enfants diminue



Nouvelle technologie
Les réacteurs modulaires sous la loupe des experts

P.6 FAITS ET PERSPECTIVES

Brûlures radiologiques
Des cellules souches qui soignent

P.9 ZOOM

Pister le tritium dans l'eau de mer

© Noak/Le Bar Floreal/Médiathèque IRSN



Les enjeux de la recherche

À l'IRSN, la recherche est indissociable des missions d'expertise. Multidisciplinaire et finalisée, elle se nourrit des besoins des experts et en retour, elle alimente les capacités d'expertise. Analyses de mécanismes élémentaires, études et expérimentations sur le terrain : les connaissances acquises par les chercheurs sont directement utilisables par les experts.

Les moyens consacrés à l'effort de recherche représentent près de 40 % des ressources de l'Institut. Celui-ci propose une large gamme de plateformes, d'installations et de dispositifs expérimentaux, mis à la disposition des chercheurs pour affiner leur travail, en concertation avec les experts. Ces équipements contribuent à la constitution de partenariats structurants, en France comme à l'international. Le dossier de ce numéro de *Repères* montre au travers de plusieurs exemples comment la symbiose entre les activités de recherche et d'expertise à l'IRSN fait avancer la sûreté, la sécurité et la radioprotection.

Jean-Christophe Niel
Directeur général de l'IRSN



DOSSIER P.10

Dossier du prochain n° :
Le démantèlement des installations nucléaires

Recherche et expertise
Une synergie indispensable
à la sûreté et la radioprotection

P.17 EN PRATIQUE

Environnement
La radioactivité mesurée en continu

P.20 INTÉRÊT PUBLIC

Les questions du public à l'occasion des réexamens de sûreté

P.22 REPORTAGE

Unités de recherche
La radioprotection est organisée en réseau

REPÈRES – Éditeur : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire – 31, avenue de la Division-Leclerc, 92260 Fontenay-aux-Roses – Tél. : 01 58 35 88 88 – Site Internet : www.irsn.fr – Courriel : reperes@irsn.fr – Directeur de la publication : Jean-Christophe Niel – Directrice de la communication : Marie Riet-Hucheloup – Rédactrice en chef : Catherine Roulleau – Assistante de rédaction : Isabelle Cussinet – Ont collaboré à ce numéro : Stéphanie Clavelle, Aleth Delattre, Pascale Monti – Comité de lecture : François Bréchnignac, Louis-Michel Guillaume – Rédaction et réalisation : CITIZENPRESS – Maquette et direction artistique : Vincent Dulau – Iconographie : Sophie Léonard – Photos de couverture : © Francesco Acerbis/Médiathèque IRSN; © IRSN – Impression : Handiprint (50) – Imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement – ISSN : 2103-3811 et 2491-8776 (Web) – Avril 2019.

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Environnement

Échanges avec la société civile

Accueillir des étudiants du site universitaire de Cherbourg-en-Cotentin (Manche), sensibiliser des lycéens à la mesure des rayonnements, développer un programme de recherche commun avec la marine nationale... le Laboratoire de radioécologie de Cherbourg-Octeville (LRC) de l'IRSN multiplie les actions auprès des acteurs locaux et de la société civile pour informer le public, susciter des vocations et faire connaître l'Institut. Implanté dans le Cotentin, qui compte quatre installations nucléaires, le LRC surveille les milieux marin, atmosphérique et terrestre. Il a noué un partenariat avec trois lycées pour mesurer, avec les élèves et leurs professeurs, la radioactivité dans les sols et les concentrations en tritium¹ dans l'eau de pluie. « Nos ingénieurs ont installé des pluviomètres dans la cour », précise Denis Maro, expert en radioécologie. L'initiative, à laquelle soixante élèves de première et seconde ont participé, s'est achevée par un congrès à la Cité de la mer de Cherbourg.

¹ Isotope radioactif de l'hydrogène utilisé comme traceur de la radioactivité.

RECHERCHE ET EXPERTISE

65°C

C'est la température désormais utilisée pour vérifier que les matériels résistent aux effets thermiques et aux suies d'un incendie.

3

C'est le nombre de centres hospitaliers qui utilisent le protocole d'étalonnage des mini-faisceaux en radiothérapie développé par l'Institut.

Ces chiffres illustrent la synergie entre la recherche et l'expertise. Retrouvez notre dossier en page 10.

Santé

© Philippe Castano/Médiathèque IRSN



Une manipulatrice d'électroradiologie médicale prépare un enfant en vue d'un scanner cérébral à l'hôpital Armand-Trousseau, à Paris.

Rayonnements ionisants

L'exposition des enfants diminue

« **P**lutôt que de pratiquer un scanner, il est possible de recourir à l'échographie ou à l'imagerie par résonance magnétique (IRM) pour limiter l'exposition », affirme Jean-François Chateil, radiologue au CHU de Bordeaux (Gironde). Le constat du praticien va dans le sens du dernier rapport ExPRI pédiatrique¹ de l'IRSN. Celui-ci porte sur l'exposition des enfants aux rayonnements ionisants en imagerie médicale diagnostique.

En France, un enfant sur trois est exposé à des rayonnements lors d'actes de diagnostic. Menée sur plus de 120 000 enfants de 0 à 16 ans, l'étude ExPRI pédiatrique montre que la dose efficace annuelle moyenne par enfant exposé en 2015 s'établit autour de 0,43 mSv – contre 0,65 mSv en 2010. Une baisse d'environ un tiers en cinq ans alors que la fréquence des actes d'imagerie médicale est stable.

« Cette diminution est liée à l'amélioration des techniques – la dose nécessaire à l'acquisition d'une image de qualité est devenue

moins conséquente – et à la mise en place progressive des bonnes pratiques recommandées par les sociétés savantes concernées », explique Jean-François Chateil.

La moyenne globale de la dose efficace² lors d'interventions diagnostiques reste sept fois inférieure à celle des rayonnements d'origine naturelle.

De quoi rassurer les parents les plus inquiets en ce qui concerne les actes usuels non répétitifs. Le rapport incite néanmoins les professionnels de santé à rester vigilants sur les doses délivrées, en particulier aux nourrissons de moins d'un an, proportionnellement plus exposés.

¹ Le rapport « Exposition aux rayonnements ionisants » (ExPRI) pédiatrique fournit aux autorités et professionnels de santé des données actualisées sur l'exposition des enfants aux actes d'imagerie médicale diagnostique. www.irsn.fr/expri-2015

² Exprimée en millisieverts (mSv), la dose efficace permet d'évaluer l'impact biologique d'une exposition à des rayonnements sur les tissus vivants.

www Pour en savoir plus : serge.dreuil@irsn.fr

Sûreté



Forum de dialogue de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).

« Quelle que soit la taille du réacteur, la défense en profondeur reste la même. »

Nouvelle technologie Les réacteurs modulaires sous la loupe des experts

« Il est nécessaire de se préparer à évaluer la sûreté des SMR¹, ces réacteurs nucléaires modulaires de faible puissance – de 5 à 1000 MWth », explique Sébastien Israël, expert en sûreté des nouveaux réacteurs. S'il n'existe pas de projet d'installation en France, l'Institut contribue à la définition des exigences et démarches de sûreté pour ces réacteurs de diverses technologies : à eau sous pression, à sels fondus... Il a participé à l'examen du document de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) sur la conception des centrales nucléaires pour examiner son applicabilité aux SMR. Depuis 2015, l'IRSN copilote un forum² relatif à leur sûreté. En 2017, ce dernier a publié ses positions sur l'application de la défense en profondeur et de l'approche graduée, et sur les zones de plani-

fication d'urgence. En 2020, il se positionnera sur les processus d'autorisation des SMR, les conditions d'inspection et de démarrage, puis sur les aspects techniques de la démonstration de sûreté. L'IRSN est partenaire d'un projet financé par la Commission européenne. « Nous confrontons les exigences de sûreté aux concepts des industriels et vérifions si nos outils de calcul sont adaptés », précise Sébastien Israël.

1. Small Modular Reactors (SMR).
2. Outre la France, représentée par l'IRSN, le SMR Regulators' Forum comprend les autorités de sûreté des États suivants : États-Unis, Canada, Royaume-Uni, Finlande, Corée du Sud, Chine, Russie et Arabie saoudite.

www Pour en savoir plus :
https://aris.iaea.org/Publications/SMR-Book_2018.pdf
<https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors/smr-regulators-forum>

Environnement



Vues satellite du site de la Commanderie (Vendée/Deux-Sèvres) en 1980 et 2018.



Un parc photovoltaïque est maintenant implanté.

Évolution 2011-2017 Un niveau de radioactivité stable

L'exposition des riverains des installations nucléaires – sites industriels et bases navales – fait l'objet d'une surveillance régulière. Tous les trois ans, un bilan de l'état radiologique de l'environnement français est publié. Entre 2015 et 2017, les niveaux de radioactivité sont semblables à ceux de 2011-2014. L'exposition reste très faible et a parfois diminué avec la baisse des rejets. Dans la continuité des années antérieures, le site de La Hague (Manche) reste le plus marqué. Les activités radiologiques y sont conformes à la réglementation. Le rapport aborde pour la première fois

l'influence des anciennes mines d'uranium. Les niveaux radioactifs de quatre sites sont rapportés : l'Écarpière (Loire-Atlantique/Maine-et-Loire), le Bosc (Hérault), la Commanderie (Vendée/Deux-Sèvres) et la Porte (Corrèze). La surveillance a porté sur le débit de dose externe, la qualité de l'air, les eaux de surface et la chaîne alimentaire. Les valeurs observées sont cohérentes avec les données de l'exploitant acquises dans le cadre de la surveillance réglementaire.

www Pour en savoir plus :
www.irsn.fr/BR2015-2017

Poussières rouges Déterminer les risques

Quel est l'impact environnemental de l'usine Altéo de transformation de bauxite en alumine et du site de stockage de résidus de bauxite de Mange-Garri, situés dans les Bouches-du-Rhône ? Quels sont les risques liés à l'émission, par ces installations, de poussières rouges contenant des métaux et des radionucléides naturels ?

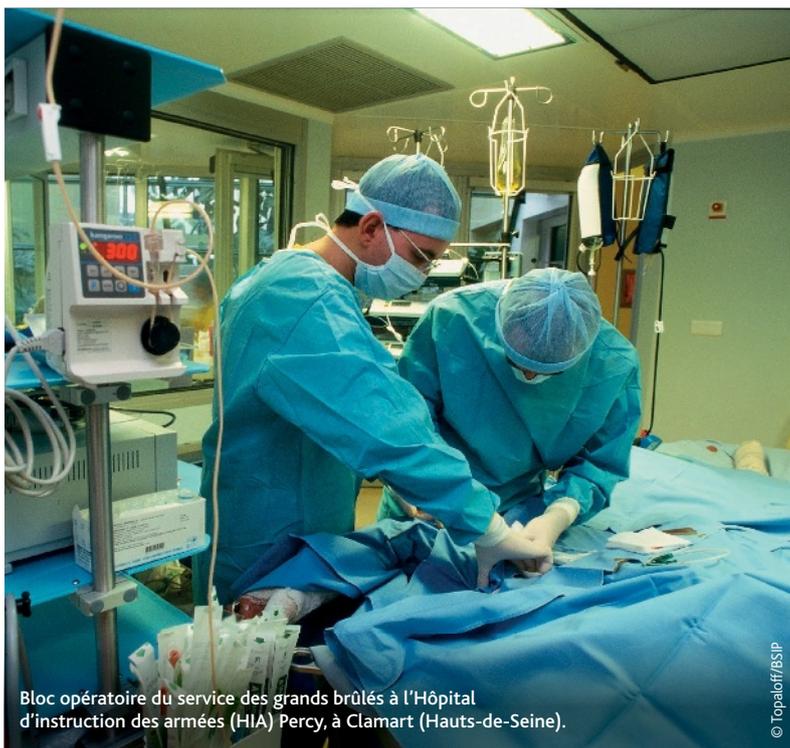
Pour répondre à ces questions, l'IRSN est chargé de caractériser – sur le plan radiologique – les flux d'émission des poussières, d'évaluer la contamination particulière de l'atmosphère et d'estimer les conséquences. Partenaire de l'Institut sur le projet Red'Air, le Cerege¹ s'intéresse – sur le plan chimique – aux conséquences des substances contenues dans les poussières.

En 2015, l'expertise de l'Institut concluait que, globalement, l'enjeu radiologique lié à ces entreposages était faible. Le dispositif expérimental déployé à l'époque n'avait néanmoins pas permis de caractériser la dispersion et le dépôt des poussières dans l'environnement.

1. Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement. (Cerege)

www Pour en savoir plus :
gregory.mathieu@irsn.fr

FAITS ET PERSPECTIVES



Bloc opératoire du service des grands brûlés à l'Hôpital d'instruction des armées (HIA) Percy, à Clamart (Hauts-de-Seine).

© Topaloff/BSIP



Transport de flasques de culture de cellules souches mésenchymateuses (CSM) au Centre de transfusion sanguine des armées (CTSA), à Clamart (Hauts-de-Seine).

© SSA

Brûlures radiologiques

Des cellules souches qui soignent

Les brûlures radio-induites sont particulières et difficiles à soigner. Une stratégie thérapeutique est en passe de changer la donne. Chercheurs et cliniciens continuent à la perfectionner pour que les patients bénéficient d'un traitement personnalisé.

Les brûlures radiologiques sont profondes et si douloureuses que même la morphine ne peut les apaiser. Elles continuent à s'étendre après l'exposition aux rayons et peuvent récidiver plusieurs mois ou années plus tard. Le tableau clinique des lésions induites par une exposition localisée à de fortes doses de rayonnements ionisants est sombre et différent de celui des brûlures thermiques.

Rares, elles surviennent par exemple lors de la manipulation de sources radioactives mal sécurisées. Le plus souvent, les victimes ne se rendent pas compte tout de suite de leur exposition : les rayonnements sont inodores, incolores, inertes et ne provoquent aucune sensation immédiate de brûlure. L'IRSN et le Service de santé des armées (SSA) ont mis au point une nouvelle stratégie thérapeutique pour faire bénéficier les patients de leur expérience en matière de recherche sur ces lésions. L'Hôpital d'instruction des armées (HIA)

Percy, à Clamart (Hauts-de-Seine), reçoit des patients venus du monde entier pour soigner de telles brûlures, car il dispose d'une expertise médicale quasi-unique dans ce domaine. Des cas suffisamment graves et rares pour que les équipes se souviennent de chacun d'entre eux, même vingt ans après. Comme ce patient péruvien, transféré à l'HIA en 1999, cent un jours après avoir glissé, sans le savoir, une source d'iridium 192 de forte activité dans la poche arrière de son pantalon.

Évolution vers la nécrose

Il subit plusieurs opérations chirurgicales visant à contrôler au mieux la progression de la radionécrose des tissus mous et rentre dans son pays après une hospitalisation de près de quatre mois. Une stabilisation de l'état du patient n'a pu être obtenue qu'au prix d'une désarticulation¹ du membre inférieur. Jusqu'à récemment, ces chirurgies mutilantes étaient la seule stratégie théra-

peutique pour venir en aide aux patients. Pour améliorer leur prise en charge, l'IRSN a lancé, il y a près de dix ans, un programme de recherche sur les traitements innovants des brûlures radiologiques. Les cliniciens ont constaté chez leurs patients qu'en cas d'irradiation localisée tous les tissus ayant reçu une dose supérieure à 25 grays (Gy) évoluaient progressivement vers la nécrose. Il faut donc avant tout évaluer la dose reçue localement par le patient et déterminer quelle surface de peau et quel volume de muscle en profondeur ont reçu plus de 25 Gy. Pour cela, les spécialistes en dosimétrie ont développé un outil numérique. Il combine un modèle 3D, qui reflète la morphologie individuelle du patient, et un code de calcul. L'outil recons-

 WEBMAGAZINE

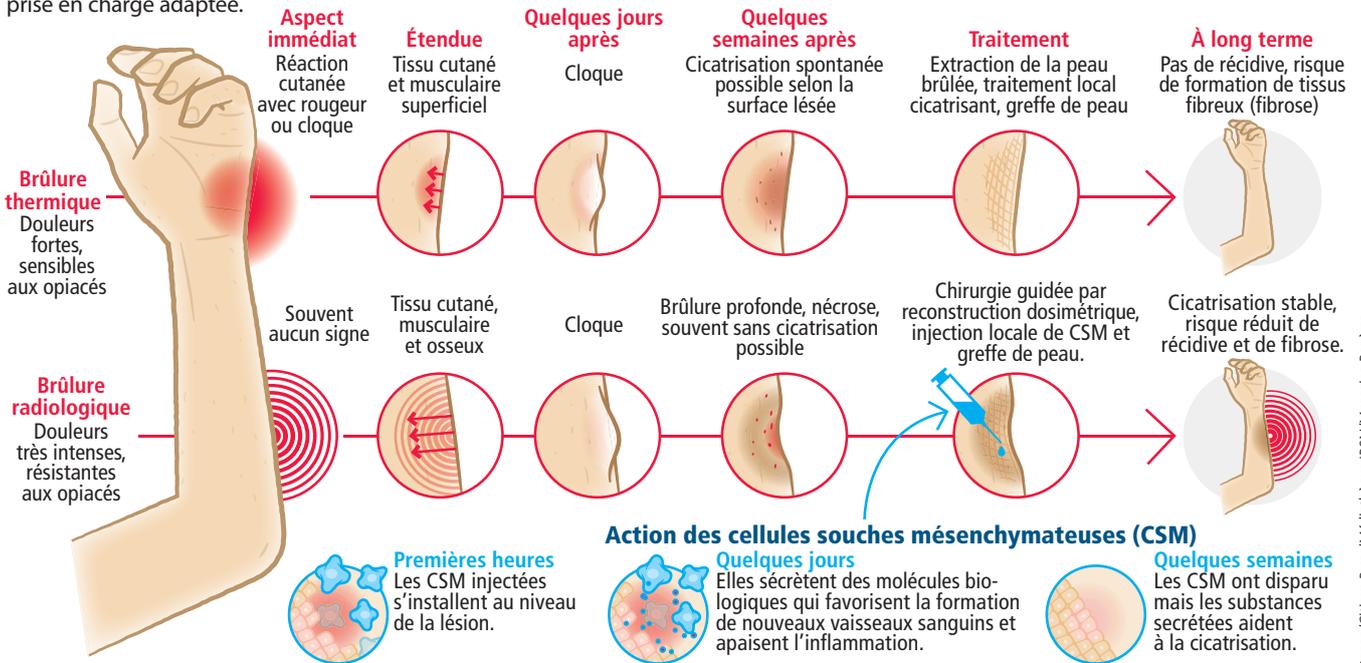
INFOGRAPHIE

Des cellules souches pour traiter des brûlures radiologiques : www.irsn.fr/r41

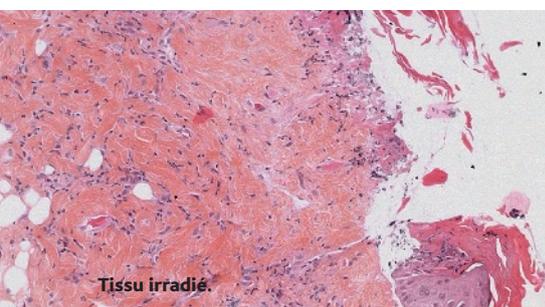
PROCESS

Brûlures radiologiques : des signes cliniques et une évolution atypiques

À forte dose, les rayons ionisants provoquent des brûlures radiologiques. Très différentes des brûlures thermiques, elles nécessitent une prise en charge adaptée.



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



titule l'accident d'irradiation – à partir d'une modélisation de la source, de sa position par rapport aux organes... – et fournit une image en 3D de tous les tissus irradiés – peau et muscle. Ceux ayant reçu plus de 20 Gy – pour garder une marge de sécurité – sont excisés au plus vite pour anticiper leur nécrose et limiter son extension.

Un effet anti-inflammatoire

La prise en charge médicale des brûlures radiologiques peut tirer profit de la thérapie cellulaire. Dans la moelle osseuse, les cellules souches mésenchymateuses (CSM)² entourent les futures cellules sanguines en cours de formation. Elles présentent des propriétés étonnantes. Elles sont capables de se renouveler en culture tout en restant dans un état « immature » et possèdent un potentiel anti-inflammatoire et immunologique qui les rend intéressantes en médecine régénérative, notamment pour le traitement des blessures et brûlures.

Des modèles précliniques chez la souris et le cochon nain ont été mis au point par l'IRSN pour tester l'efficacité thérapeutique de l'injection locale de CSM. Les conditions d'utilisation de ces cellules ont pu être définies, et certains de leurs mécanismes d'action mieux compris.

Les CSM agissent comme des « cellules médicaments » pour réparer les tissus irradiés. Une fois injectées localement, elles ne survivent que de quelques heures à quelques jours, mais ont le temps de délivrer des molécules qu'elles fabriquent. « Le mécanisme est complexe, mais certaines cytokines³ contrôlant l'inflammation et des facteurs de croissance impliqués dans la formation de nouveaux vaisseaux sanguins semblent favoriser la réparation des tissus irradiés », détaille Marc Benderitter, biologiste à l'Institut.

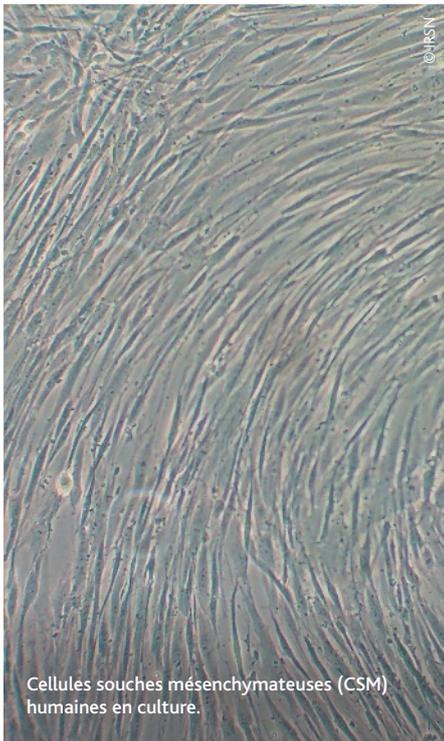
Un premier patient traité

Ces travaux ont alimenté le dossier de demande d'autorisation de médicament de thérapie innovante (MTI) déposé récemment par le Centre de transfusion sanguine des armées (CTSA) auprès de l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM). Un avis favorable a été reçu.

En 2006, à la suite d'un grave accident d'irra-

1. Amputation pratiquée au niveau de l'articulation.
2. Les cellules souches mésenchymateuses (CSM) sont des cellules dites multipotentes : elles conservent leur capacité à s'autorenouveler et sont capables de se différencier en plusieurs types cellulaires.
3. Les cytokines sont des protéines comparables aux hormones qui régulent l'activité et la fonction de certaines cellules.

FAITS ET PERSPECTIVES



Comment avez-vous été amené à travailler avec l'IRSN sur les brûlures radiologiques ?

Notre laboratoire de recherche en thérapies cellulaires travaille sur les greffes de moelle osseuse pour les patients irradiés. Nous avons découvert le potentiel des cellules souches mésenchymateuses (CSM). Leurs propriétés anti-inflammatoires se sont avérées utiles à d'autres applications comme le traitement des brûlures radio-induites. Nous avons allié nos compétences en production de CSM et traitement des patients à celles

de l'Institut en physiopathologie des brûlures radio-induites et expérimentation préclinique.

Où en sont vos recherches et vos capacités de prise en charge des patients ?

Notre laboratoire est habilité par l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM) à fabriquer des CSM et à les utiliser dans un but thérapeutique. Chaque année, l'HIA prend en charge deux à trois victimes de brûlures graves consécutives à des accidents. Nous souhaitons faire connaître notre expertise pour accueillir des personnes

atteintes de brûlures liées à des pratiques médicales – radiothérapies, radiologies interventionnelles. Nous réfléchissons à étendre les indications des CSM aux brûlures thermiques, car elles pourraient réduire l'inflammation et faciliter la prise de greffes de peau.

2 questions à... Jean-Jacques Lataillade

Expert en thérapie cellulaire au ministère de la Défense, Hôpital d'instruction des armées (HIA) Percy, à Clamart (Hauts-de-Seine)



diation de gammagraphie, un ouvrier chilien a, pour la première fois, bénéficié de ce traitement à l'HIA. Il a vite été pris en charge et a reçu une injection locale de CSM en parallèle d'une greffe de peau guidée par dosimétrie. « L'évolution du patient a été très rapidement favorable, avec cessation des douleurs au bout de quelques jours et une prise de greffe d'excellente qualité, tout à fait inhabituelle pour des lésions radio-induites », décrit un bilan de l'IRSN sur ces recherches et leurs perspectives paru en juin 2018.

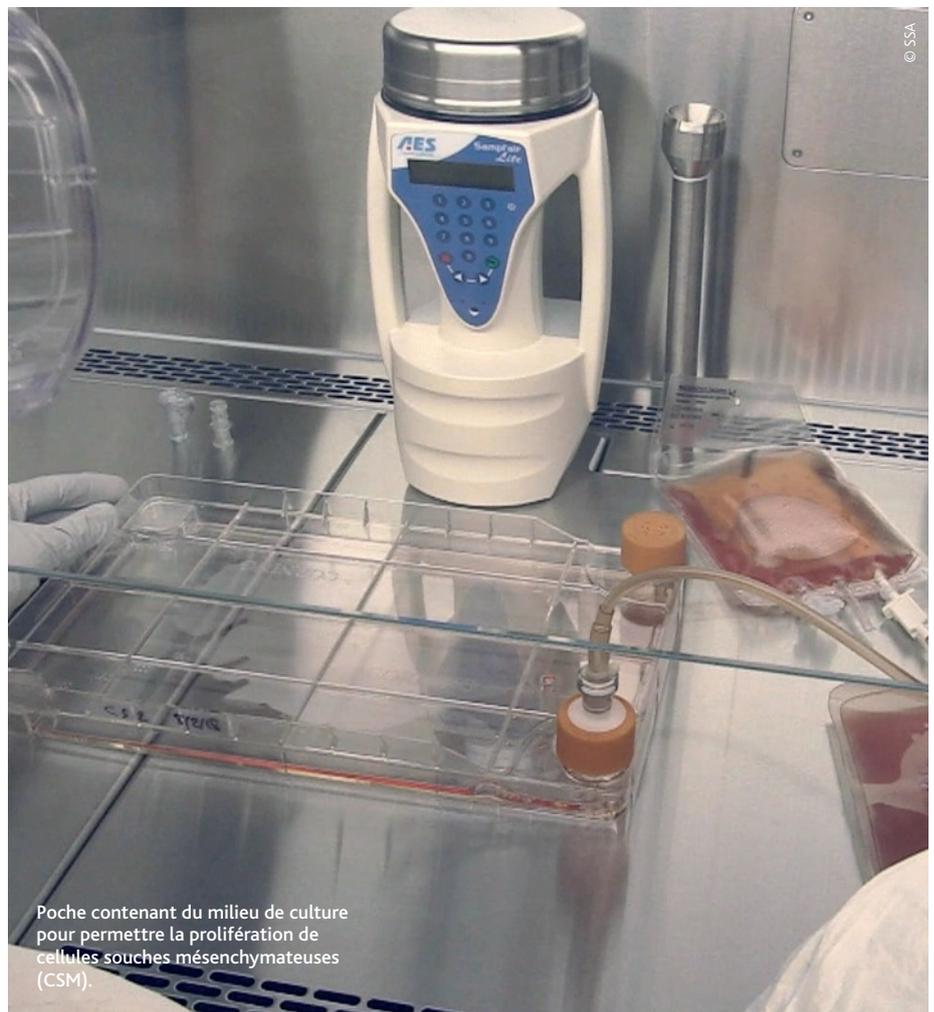
Ce savoir-faire est diffusé vers d'autres équipes médicales dans le monde. À la demande de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), des experts de l'HIA et de l'IRSN sont allés au Brésil pour préparer la création d'un centre de référence. En 2014, un premier patient péruvien y a été accueilli et soigné. ■

www Pour en savoir plus :
Dossier « Mieux protéger le patient en radiothérapie », Repères n° 15 : www.irsn.fr/R15

Rapport « Traitement des brûlures radiologiques localisées par thérapie cellulaire » : www.irsn.fr/SERAMED-2017-36

Projet Anthos de l'IRSN : www.irsn.fr/anthos
« Traitement des effets des radiothérapies par CSM, vers un protocole plus efficace », Aktis n° 27 : www.irsn.fr/Aktis27

CONTACT
Marc Benderitter
marc.benderitter@irsn.fr





Pister le tritium dans l'eau de mer

Ces rangées de bonbonnes surmontées de tubes effilés renferment des prélèvements d'eau du golfe de Gascogne. Objectif de l'opération : étudier à l'échelle de cette vaste étendue la dispersion des radionucléides transportés par les eaux de la Loire et de la Garonne, sur les rives desquelles sont implantées plusieurs installations nucléaires.

Prélevés entre 2009 et 2016 lors de campagnes scientifiques organisées par l'Ifremer et l'IRSN, ces échantillons d'eau de mer ont été stockés au Laboratoire de radioécologie de Cherbourg-Octeville

(Manche). Après leur transfert dans des bonbonnes en acier inoxydable, ils ont été débarrassés des gaz naturellement présents. Les prélèvements y restent confinés entre un et six mois grâce à un système de fermeture étanche : un tube en cuivre scellé sur la partie supérieure du dispositif. Les chercheurs ont déterminé leur concentration en hélium 3. Ce gaz résulte de la désintégration des molécules d'eau contenant un atome de tritium, isotope radioactif de l'hydrogène : le niveau de concentration en hélium 3 indique la quantité précise de tritium dans l'échan-

tillon. En réitérant l'analyse sur plus de 350 prélèvements recueillis en surface comme en profondeur sur l'ensemble du golfe, les scientifiques ont montré qu'il fallait un peu plus d'un an pour que les eaux d'origine continentale se renouvellent dans cette zone.

Ce travail a validé le code de calcul Mars, développé par l'Ifremer et interfacé avec l'outil d'expertise Sterne de l'IRSN. L'objectif est de simuler la dispersion des radionucléides en cas d'accident nucléaire et de contamination radioactive du milieu marin. ■

Pascal Bailly du Bois

Ingénieur-chercheur spécialiste de la dispersion des radionucléides en mer

Recherche et expertise Une synergie indispensable à la sûreté et la radioprotection

Recherche et expertise s'inscrivent dans une dynamique propre à l'IRSN. Tantôt, c'est un résultat de recherche qui vient appuyer une expertise, tantôt une expertise qui conduit au lancement d'un programme de recherche. Les spécialistes de l'Institut travaillent en concertation et c'est ainsi que sûreté et radioprotection avancent. Les quatre thèmes de ce dossier l'illustrent : éviter la corrosion des évaporateurs dans les usines de retraitement, étalonner les mini-faisceaux en radiothérapie, prévenir les effets de site particuliers liés aux séismes et protéger les équipements de sûreté en cas d'incendie.

Mamadou Sow (à droite), chercheur, et Yohan Leblois (à gauche), technicien, tous deux à l'Institut, démontent la cuve d'un évaporateur sur l'installation Disco visant à simuler la fuite massive de produits de fission.

Évaporateurs

Maîtriser les rejets de radioactivité en cas de fuite

Pour expertiser un scénario de fuite d'évaporateur de concentration dans les usines de traitement du combustible usé, l'Institut a mené des recherches sur les aérosols générés. Il a recommandé à l'Autorité de sûreté nucléaire que l'exploitant prenne des dispositions complémentaires pour mieux protéger les filtres de la ventilation et minimiser les rejets radioactifs dans l'environnement.

« **I**l s'est écoulé moins d'un an entre la demande des experts et l'obtention de résultats sur la remise en suspension des contaminants », affirme Mamadou Sow, chercheur en physique et métrologie des aérosols. « En plus de faire avancer la connaissance, cette réponse rapide nous a permis de nous prononcer dans les avis et d'appuyer une recommandation sur le renforcement des dispositifs à La Hague », souligne Bérengère Cordier, experte en sûreté. La synergie entre expertise et recherche à l'Institut a fait avancer la sûreté.

Prévoir un scénario de fuite massive

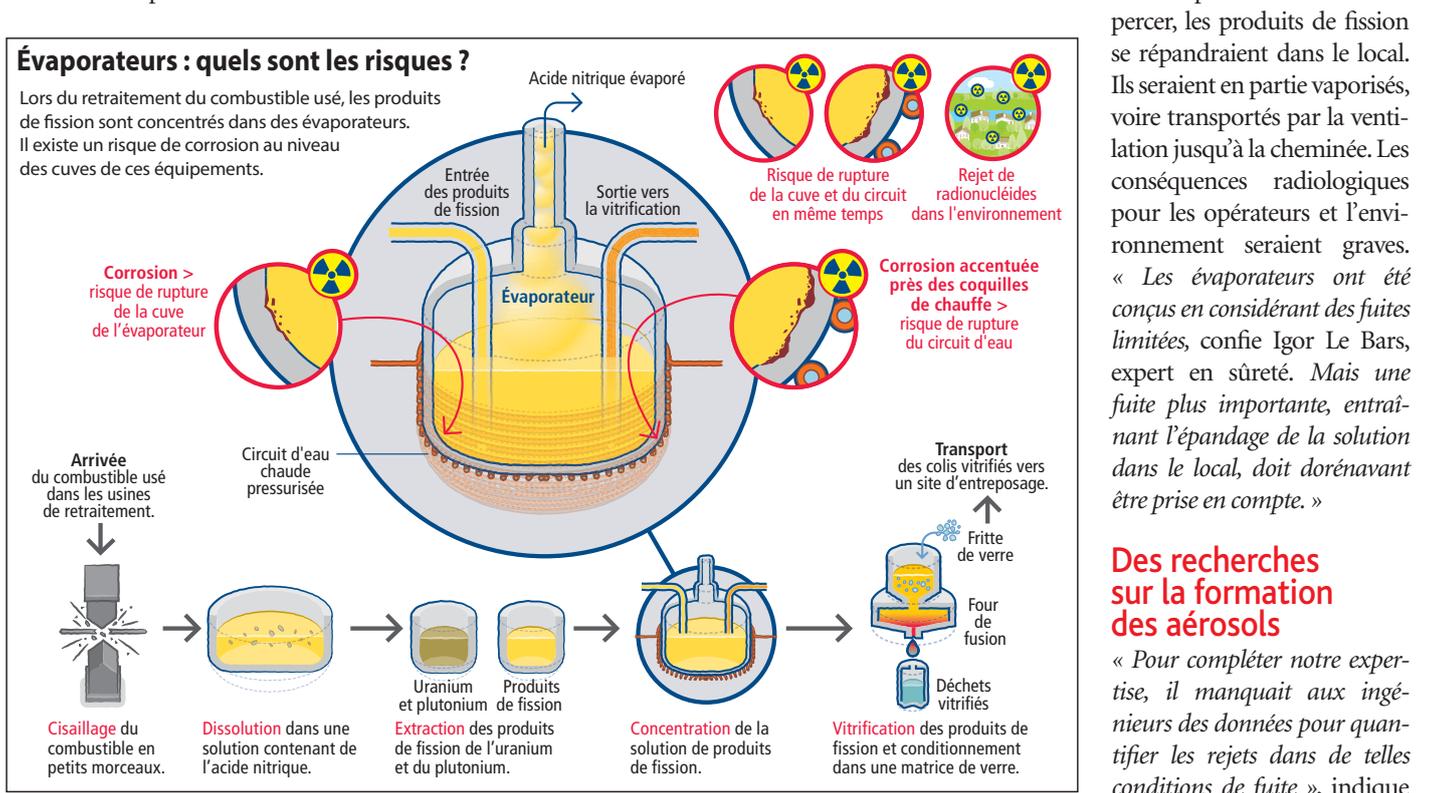
Dans les usines de traitement de La Hague (Manche), le combustible usé est cisaillé puis dissous dans un bain chimique en vue de séparer l'uranium, le plutonium et les produits de fission. La solution renfer-

mant ces derniers est concentrée dans des évaporateurs¹. Elle contient des radioéléments et de l'acide nitrique à forte concentration, potentiellement nocifs pour l'acier des équipements. « Les évaporateurs ont été fabriqués dans un acier spécifiquement formulé pour cet usage, avec une surépaisseur calculée pour tenir compte de la corrosion pendant toute leur durée de vie, indique Bérengère Cordier. Mais lors du précédent réexamen de sûreté, Orano Cycle a constaté que la corrosion était plus rapide et intense que prévu à la conception, occasionnant un risque accru de fuite ou de rupture mécanique. »

Les évaporateurs sont des équipements sous pression et, dans une démarche de sûreté, il importe d'envisager des scénarios de perte de confinement. La réglementation² reprend cette exigence. Si la cuve de l'un d'eux et son circuit d'eau chaude sous pression venaient à se

1. Équipement pressurisé qui permet à un liquide de s'évaporer à l'aide d'un circuit d'échange de chaleur.

2. <https://www.asn.fr/Reglementer/La-reglementation/Le-regime-juridique-des-installations-nucleaires-de-base/Les-dispositions-particulieres-aux-equipements-sous-pression>



percer, les produits de fission se répandraient dans le local. Ils seraient en partie vaporisés, voire transportés par la ventilation jusqu'à la cheminée. Les conséquences radiologiques pour les opérateurs et l'environnement seraient graves. « Les évaporateurs ont été conçus en considérant des fuites limitées, confie Igor Le Bars, expert en sûreté. Mais une fuite plus importante, entraînant l'épandage de la solution dans le local, doit dorénavant être prise en compte. »

Des recherches sur la formation des aérosols

« Pour compléter notre expertise, il manquait aux ingénieurs des données pour quantifier les rejets dans de telles conditions de fuite », indique

“ Nous développons un code de calcul pour faciliter la modélisation. »

Igor Le Bars. Les filtres à très haute efficacité (THE) de la ventilation des usines assurent une filtration ultime avant le rejet des effluents radioactifs par la cheminée. « *Prouver qu'ils restent performants nécessite de connaître la proportion de solution vaporisée à l'endroit de la fuite et son devenir jusqu'aux filtres.* »

Les experts ont sollicité les chercheurs pour obtenir des données sur ces scénarios, indépendamment de l'exploitant. « *Nous avons simulé la fuite massive sur un dispositif qui imite la réalité, précise Mamadou Sow. Nous avons étudié la formation des aérosols à la source, leur comportement et leur transport en lien avec divers paramètres : viscosité et tension de surface de la solution, nature du jet de liquide impactant la surface au sol, taille des aérosols générés, hauteur de la source, vitesse d'émission et de dépôt des aérosols, dimension des conduits de l'évaporateur...* » Le coefficient de remise en suspension ainsi obtenu correspond à celui utilisé par l'exploitant. Il conforte l'évaluation de la fraction susceptible de se disséminer dans la ventilation. Celle-ci est encore réduite lorsqu'elle arrive sur les filtres, car une partie des particules mises en suspension adhère aux parois des équipements durant leur transfert. « *La viscosité et la tension de surface influencent nettement la formation des aérosols et des dépôts. Nous développons un code de calcul et alimentons une base de données pour faciliter leur modélisation sans avoir à refaire des expériences coûteuses.* »

Des filtres métalliques ajoutés

Les filtres THE de La Hague sont assez robustes pour absorber les aérosols radioactifs pouvant les atteindre en cas de fuite d'un évaporateur. L'arrivée importante de vapeur sur ces filtres pourrait toutefois compromettre leur tenue. « *Pour prévenir cette situation, nous avons mis en place un dispositif qui déclenche l'isolement du local de l'évaporateur touché aussitôt qu'une fuite est détectée, ajoute Pierre Chambrette, expert en sûreté et environnement chez Orano Cycle. L'IRSN a confirmé que le délai de vingt secondes demandé par le système pour réagir est acceptable compte tenu des temps de transfert des aérosols.* »

L'Institut a lancé d'autres recherches pour analyser le dossier de sûreté relatif à la construction de deux extensions des ateliers de La Hague. Cette opération a pour objectif de remplacer les évaporateurs actuels trop abîmés par la corrosion. « *La longueur des conduits des extensions sera plus courte, note Igor Le Bars. Nous recommandons à l'exploitant de protéger les*



Yohan Leblais, technicien à l'IRSN, prépare une solution de fluoescéine pour simuler la solution de produits de fission traitée dans les usines de La Hague (Manche).

filtres THE avec un dispositif supplémentaire. » Experts et chercheurs ont examiné l'apport d'une solution : l'ajout de filtres métalliques pour capter l'eau à la sortie du local de l'évaporateur et protéger les filtres de la ventilation avant la cheminée. « *Nous équipons les nouveaux évaporateurs avec des filtres similaires, testés en usine avant la mise en service des installations en 2021* », conclut Pierre Chambrette. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

Avis de l'IRSN : corrosion des évaporateurs
– www.irsn.fr/2015-00376
– www.irsn.fr/avis-16158
Avis de l'IRSN : nouvelles unités de concentration
– www.irsn.fr/2016-00129
– www.irsn.fr/2016-00270

Note technique de l'ASN :
« Corrosion des évaporateurs concentrateurs de produits de fission de La Hague »
sur www.asn.fr

■ CONTACTS

Mamadou Sow,
mamadou.sow@irsn.fr

Igor Le Bars,
igor.lebars@irsn.fr

Bérengère Cordier,
berengere.cordier@irsn.fr



Ouverture de l'enceinte climatique du banc d'essai de l'installation Persée, sur le site IRSN de Saclay (Essonne).

Des moyens expérimentaux à l'IRSN

Pour mener ses recherches, l'Institut développe et utilise ses propres installations expérimentales. L'installation Persée, implantée à Saclay (Essonne), étudie des dispositifs d'épuration des effluents radioactifs dans les installations nucléaires.

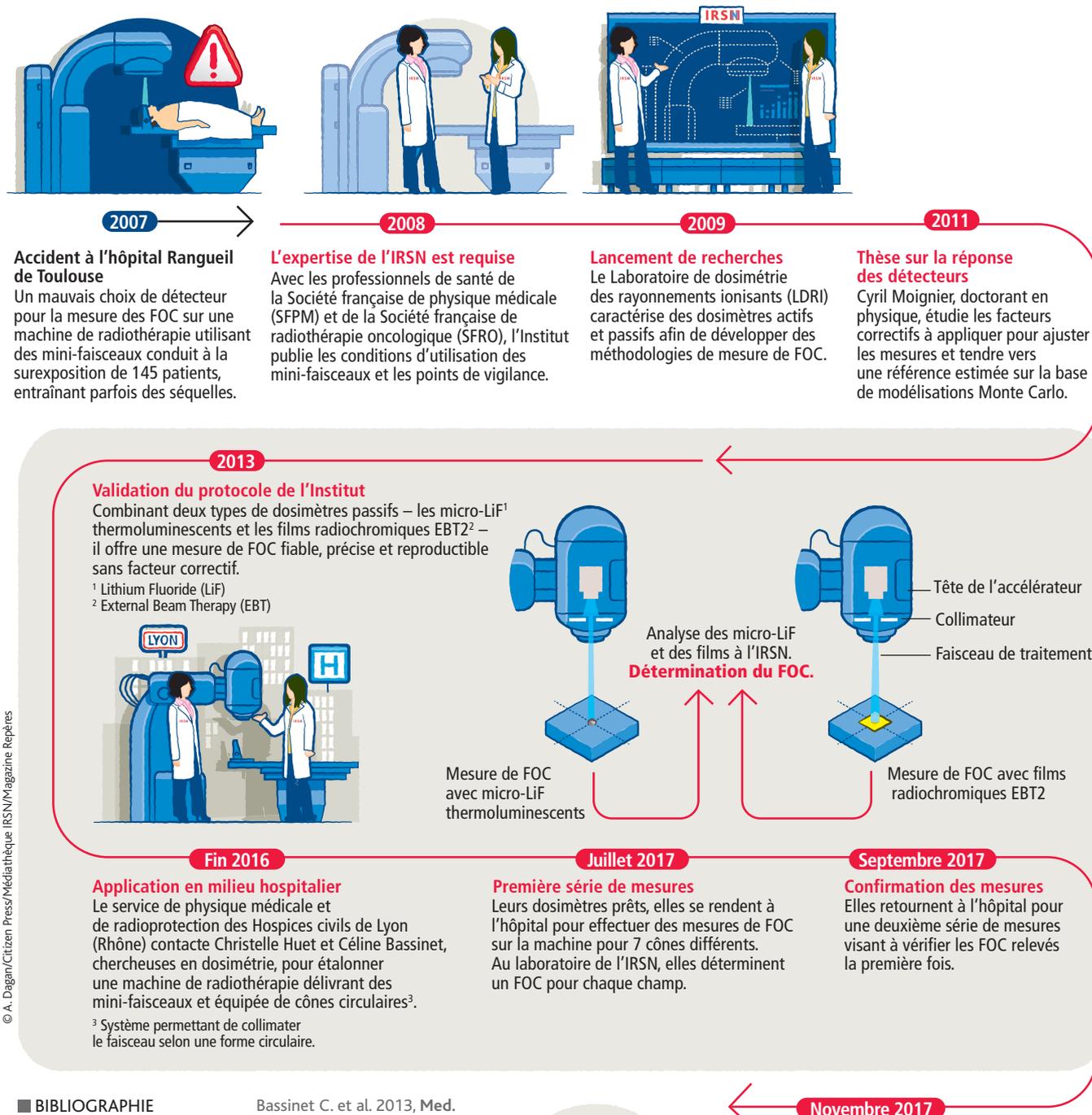
Installé à Cadarache (Bouches-du-Rhône), l'irradiateur Mircom est équipé d'un microfaisceau d'ions ciblant des éléments cellulaires et subcellulaires. Il est utilisé pour des recherches sur la communication intra- et inter-cellulaire.

www Découvrir tous les moyens expérimentaux avec, pour chacun, les travaux réalisés :
www.irsn.fr/moyens-experimentaux

RADIOTHÉRAPIE

Un protocole pour étalonner les mini-faisceaux

Grâce à un programme de recherche initié à la suite d'une expertise, l'Institut a mis au point un protocole d'étalonnage des mini-faisceaux utilisés en radiothérapie. Déjà mis en œuvre dans trois centres hospitaliers en France, il permet, à partir de deux dosimètres passifs, de mesurer précisément les facteurs d'ouverture du collimateur (FOC), donc la dose de rayonnement délivrée aux patients.



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

■ BIBLIOGRAPHIE

Protocole de dosimétrie des mini-faisceaux de l'IRSN : www.irsn.fr/FOC-MAJ

Dossier « Radiologie interventionnelle », Repères n° 39 : www.irsn.fr/R39

Bassinnet C. et al. 2013, Med. Phys., 40:071725

■ CONTACTS

Christelle Huet, christelle.huet@irsn.fr
Céline Bassinet, celine.bassinnet@irsn.fr



Aléas sismiques

Les effets de site particuliers mieux considérés

Un travail de recherche et d'expertise a fait évoluer la prise en compte de l'aléa sismique dans les études de sûreté. L'exploitant a modifié ses pratiques, combinant les méthodes pour mieux évaluer les effets de site particuliers et prévenir les risques pour ses installations.

« Certains milieux ont la propriété d'amplifier les ondes qui se propagent depuis le foyer d'un séisme jusqu'à la surface de la Terre, augmentant de manière significative les risques », explique Céline Gélis, ingénieure-chercheuse en sismologie. Les effets de site sont induits par la nature des couches géologiques superficielles du milieu, qui modifient la propagation des ondes.

Pour les quantifier et mieux apprécier leurs conséquences, une approche simplifiée consiste à caractériser la vitesse moyenne des ondes de cisaillement dans les 30 premiers mètres de profondeur du sol (V_{s30}). « Si elle est supérieure à 800 mètres par seconde (m/s), le site est considéré comme rocheux. Entre 300 et 800 m/s, le site est considéré comme sédimentaire », explique la chercheuse. La réglementation propose d'appliquer une équation simple avec des coefficients différents selon le milieu pour évaluer les mouvements du sol et les risques pour les installations. »

Pour expertiser les dossiers de l'exploitant, l'Institut a mené des recherches complémentaires.

Les bassins sédimentaires : des secousses plus longues

Les effets de site sont dits particuliers lorsqu'ils ne peuvent pas seulement être décrits par le paramètre V_{s30} . C'est le cas des cuvettes sédimentaires, dont la géométrie complexe conduit à une amplification et un allongement de la durée des secousses. « Pour ces effets de site, ou lorsque la V_{s30} est très lente – inférieure à 300 m/s –, des études spécifiques doivent être menées pour tenir compte de ces particularités », précise Christophe Clément, expert en sismologie. « Il y a deux manières de les évaluer », poursuit Céline Gélis : analyser des enregistrements sismologiques provenant direc-



Céline Gélis, ingénieure, met en place un test en parallèle de plusieurs capteurs au Tricastin (Drôme) pour caractériser la vitesse des ondes sismiques.

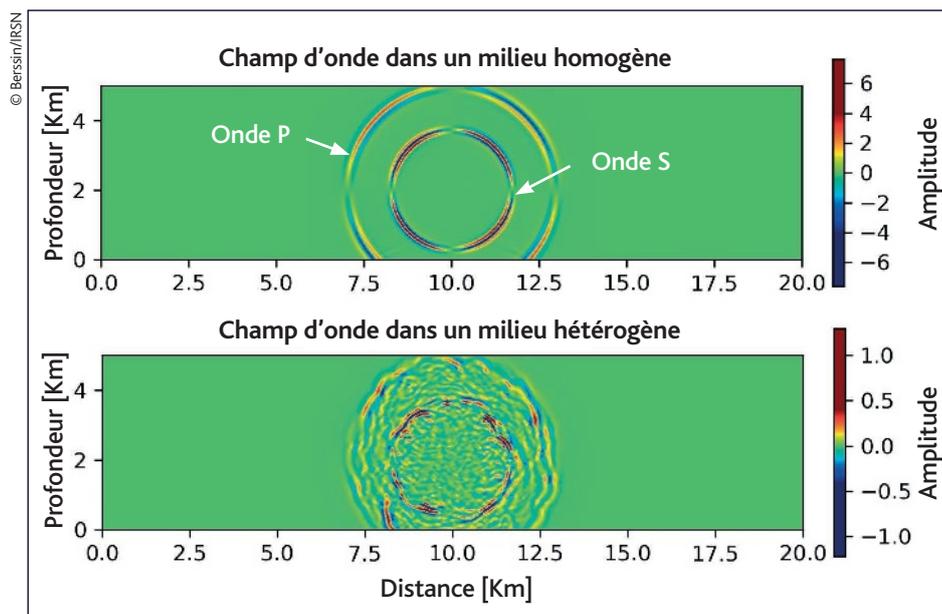
tement du site ou réaliser des simulations numériques de la propagation des ondes sur la base d'un modèle de sol décrivant les propriétés du milieu. »

Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies renouvelables (CEA) s'est servi de l'équation simple pour estimer les mouvements de sol autour de l'installation Cascad, à Cadarache (Bouches-du-Rhône). « À notre demande, il a établi un modèle de sol à partir d'investigations géophysiques sur le terrain », indique la chercheuse. N'ayant pas accès au site, nous n'avons pas réalisé de

contre-mesures, mais utilisé les propriétés du sol définies dans le modèle – géométrie des couches, vitesse de propagation des ondes... – pour paramétrer notre code de calcul et lancer des simulations. »

Des stations sismologiques sont implantées

Ces travaux montrent un effet de site particulier dû à la présence d'une vallée à l'aplomb de l'installation. Elle conduit à une estimation de l'amplification des ondes supérieure de 40 % à celle de l'exploitant



dans certaines bandes de fréquence. Néanmoins, les évaluations sur la résistance des infrastructures ont montré que l'installation était assez robuste pour résister aux mouvements de sol calculés.

« Depuis, les pratiques de l'exploitant ont évolué, affirme Christophe Clément. Il réalise désormais de manière plus systématique des simulations de la propagation des ondes et instrumente ses sites avec des stations sismologiques. C'est le cas des sites de Cadarache et de Marcoule (Gard). Combiner les deux méthodes, enregistrements et simulations, est le meilleur moyen d'obtenir une évaluation solide des effets de site et d'estimer les risques. »

Faire parler le bruit de fond

Les codes de calcul développés par l'Institut font l'objet de recherches. Ils sont sans cesse améliorés, vérifiés par la confrontation des résultats avec ceux d'autres codes de calcul et validés par comparaison à des résultats d'enregistrements réels de séismes^{1,2}. Les chercheurs mènent leurs études en dehors de l'enceinte des sites de l'exploitant pour établir leurs propres modèles de sol et explorer les incertitudes, par exemple l'hétérogénéité des couches. C'est le cas au Blayais (Gironde) et au Tricastin (Drôme). Ils utilisent des enregistrements sismiques pour faire parler le bruit de fond et obtenir de manière non invasive – sans forage – des informations sur la résonance des couches géologiques en profondeur³. « La mise en place de stations sismiques n'est pas encore une obligation réglementaire, mais pour-

THÈSE

Une étude de l'impact de l'hétérogénéité des sols

« La construction de modèles de sol s'appuie sur des études géophysiques qui considèrent que les couches géologiques ont des propriétés homogènes, ne changeant que très progressivement dans l'espace, indique Flomin Tchawe Nziaha, doctorant au Bureau d'évaluation des risques sismiques pour la sûreté des installations (Beressin)¹. Pourtant, une même couche peut présenter des propriétés qui varient à petite échelle, verticalement et latéralement. » Le physicien a analysé la propagation des ondes dans le bassin sédimentaire de Nice (Alpes-

rait le devenir, espère Christophe Clément. Nous incitons les exploitants à y avoir recours, en leur montrant que la méthode est simple et efficace. »

L'expérience des chercheurs sur le terrain nourrit l'expertise de l'Institut sur le choix des capteurs et leur zone d'implantation, qui dépendent de nombreux paramètres : conditions du milieu, distance par rapport à l'installation, disponibilité des sources d'électricité... « Nous tirons de nos études des enseignements utiles à l'instruction des dossiers des exploitants, conclut Céline Gélis. De quoi optimiser la tenue des installations comme Stema⁴ à Marcoule. Le CEA y a majoré de 50 % le niveau de sûreté initial pour tenir compte des effets de site particuliers dès la conception. » ■

Maritimes) en considérant différents comportements mécaniques du sol. Grâce à ces simulations, il a vérifié son code de calcul par comparaison avec des études déjà publiées, et quantifié la réponse du bassin dans diverses conditions. « Je teste maintenant l'influence des perturbations à petite échelle du modèle, en ajoutant une variabilité spatiale aléatoire aux propriétés du sol pour en évaluer la répercussion sur les mouvements en surface. »

1. www.irsn.fr/BERSSIN

1. Dossier « Séismes, un risque évalué », Repères n° 38 : www.irsn.fr/R38

2. Aktis n° 22 : www.irsn.fr/Aktis22

3. Peyrusse et al., *Geophys. J. Int.*, 2014, 199, 315–334.

4. Installation de cimentation et de dépôtage

■ BIBLIOGRAPHIE

Cauchie et al., « Site response assessment in two geological contexts », SSA 2017 annual meeting, Denver, Colorado

■ CONTACTS

Céline Gélis
celine.gelis@irsn.fr

Christophe Clément
christophe.clement@irsn.fr

Flomin Tchawe Nziaha
flomin.tchawenziaha@interne.irsn.fr

Incendies

Un nouveau critère pour la surveillance des équipements électroniques

Une température de 65 °C est désormais prise en compte pour vérifier que les matériels électroniques de sûreté résistent aux effets thermiques comme aux suies d'un incendie. Cette valeur a été adoptée par EDF dans les études probabilistes de sûreté de ses installations nucléaires.



Marc Piller, directeur d'essai au laboratoire d'expérimentation et des feux, où un dispositif a été développé pour étudier l'effet des suies.

Quelle température maximale l'exploitant doit-il prendre en compte pour prouver que ses équipements sont protégés des fumées en cas d'incendie ? Dans ses études probabilistes de sûreté, qui reposent sur le taux de défaillance des actions de conduite et des équipements d'une centrale lors d'un incident, l'exploitant utilisait un critère de 95 °C pour les matériels électroniques de sûreté. Seuls ceux qui atteignaient une température supérieure – estimée par modélisation – étaient supposés être endommagés.

Depuis 2016, c'est une valeur de 65 °C qui est retenue pour évaluer le dysfonctionnement des équipements électroniques vulnérables aux fumées. Une évolution justifiée par des travaux de recherche de l'Institut. « Avec une référence de 95 °C, seul l'effet thermique des fumées était pris en compte, précise Yannick Ormières, expert en sûreté et risques industriels à l'IRSN. Mais les suies propagées par un incendie, en se déposant sur certains composants comme les cartes électroniques, peuvent provoquer un court-circuit nuisible au fonctionnement des équipements. »

L'effet des suies est étudié

Voilà près de dix ans que l'Institut travaille sur la problématique des fumées à Cadarache (Bouches-du-Rhône). « Nous avons réalisé des essais sur l'installation Diva dans des conditions réelles d'incendie, indique Marc Piller, directeur d'essai et d'expérimentation des feux. Des dysfonctionnements électroniques ont été observés à des températures inférieures au seuil thermique de dégradation des composants – qui varie entre 100 et 150 °C. » Les chercheurs ont développé un dispositif analytique, Danaïdes, pour

étudier l'effet des suies à différents paliers de température. Aujourd'hui, ils caractérisent plus finement ces effets, en faisant varier les concentrations et les temps d'exposition des équipements. « Au-dessous de 65 °C, en situation d'incendie, et quelle que soit la concentration en suies, les matériels testés ne sont pas affectés par les fumées », conclut Marc Piller.

Le critère de 65 °C issu de ces travaux¹ a été recommandé à l'exploitant sur la base d'une expertise poussée, associée à de nombreuses années de recherche. « EDF le prend en compte dans ses analyses, rappelle Yannick Ormières. Mais il pourrait encore évoluer avec l'avancée des connaissances. »

Sauvegarder les équipements de secours

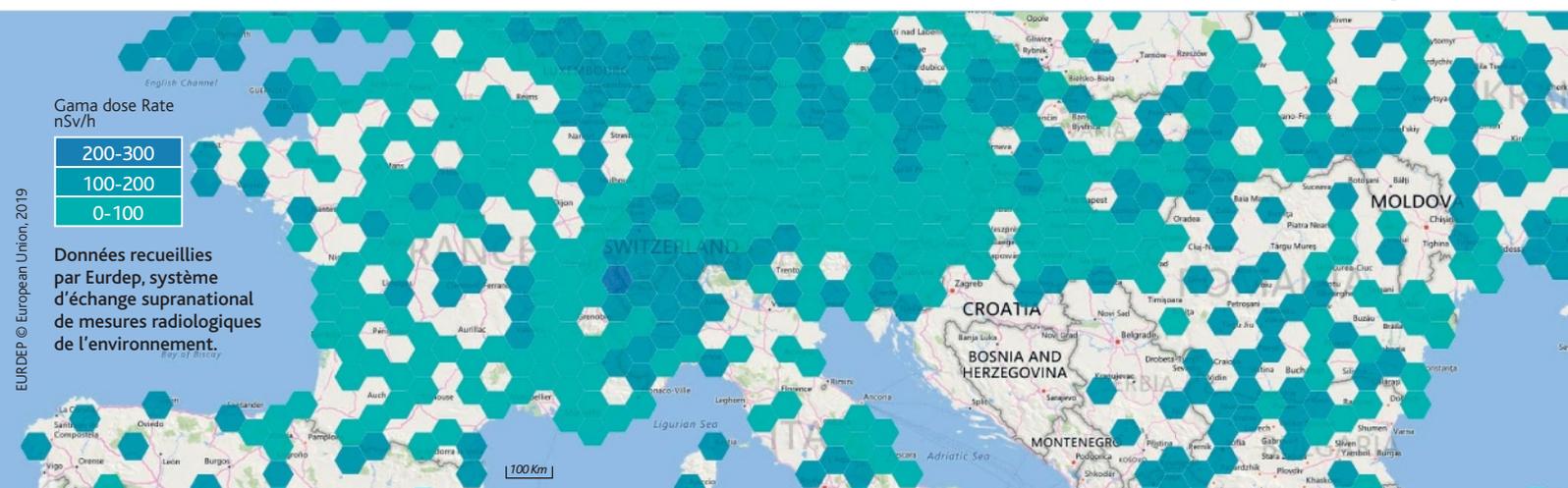
L'objectif est maintenant de mieux intégrer les effets des fumées aux études déterministes de sûreté. Celles-ci consistent à vérifier que les équipements redondants de sûreté – armoires et câbles électriques, pompes, vannes... – sont à l'abri d'un dysfonctionnement commun dans une zone pouvant être atteinte par les émanations. Autrement dit, il s'agit de veiller à ce que celles-ci n'affectent pas un équipement en même temps que sa version de secours. « L'exploitant définit une épaisseur forfaitaire de couche de fumées au plafond pour chaque local de l'installation. Mais l'étendue des fumées d'incendie générées à plus de 65 °C peut être plus importante. Nous menons des recherches pour faire évoluer ce principe de cantonnement. » L'exploitant pourrait être amené à adapter ses installations en conséquence. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

Marc Piller et al., « Effects of smoke and thermal stress on electrical equipment failure », SMiRT 24, 15th International post-conference seminar, 2017, Bruges, Belgium.

■ CONTACTS

Yannick Ormières,
yannick.ormieres@irsn.fr
Marc Piller,
marc.piller@irsn.fr



Environnement

La radioactivité mesurée en continu pour protéger les populations

L'ESSENTIEL Des capteurs implantés en métropole et outre-mer mesurent en permanence la radioactivité gamma ambiante. Ils détectent les élévations anormales. Accessibles à tous sur le web, les données sont utiles aux pouvoirs publics pour protéger les habitants en cas d'urgence.

TÉMOIGNAGE Un acteur de la surveillance radiologique de l'environnement à la Commission européenne. **INFOGRAPHIE** Le fonctionnement des balises Téléray. **AVIS D'EXPERT** Un représentant du laboratoire de télédétection de l'IRSN.



Marc De Cort

Chef d'équipe de la surveillance radiologique de l'environnement, Centre commun de recherche de la Commission européenne.

TÉMOIGNAGE « La dose ambiante en Europe est suivie en temps réel »

Pour comprendre en quelles circonstances l'alerte radiologique est déclenchée au niveau européen, prenons deux exemples : les rejets d'iode radioactif survenus, à Fleurus, en Belgique et l'accident de perte de réfrigérant à la centrale de Krško, en Slovénie – sans conséquences radiologiques pour l'environnement. Dans ces situations, qui remontent à 2008, le système européen de notification et d'échange d'informations sur la radioactivité en cas d'urgence, Ecurie¹, a été activé. Fort heureusement, c'est très rare.

Le réseau a été mis en place après l'accident de Tchernobyl pour assurer une coordination rapide des autorités nationales en cas d'accident. Un système d'échange automatisé et supranational de mesures radiologiques de l'environnement, Eurdep², a été créé en 1994. Rattaché à la Direction générale de l'énergie, au Luxembourg, il engage tous les pays membres de l'Union européenne et des pays tiers sur une base volontaire. Aujourd'hui, Eurdep compte

39 États. Toutes les dix minutes, nos serveurs « font le tour » de l'Europe pour collecter les données. Si une anomalie est détectée, un message est envoyé à l'opérateur local du réseau ou à l'autorité nationale concernée pour en connaître l'origine – problème technique, test, accident...

Les informations recueillies via Eurdep alimentent une base de données accessible au public sur internet³. Elles sont transmises automatiquement au Centre des incidents et des urgences de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Le système européen devient un pôle de surveillance régional au niveau international. La transparence du réseau contribue à renforcer la confiance du public vis-à-vis des autorités : la population est assurée de disposer d'informations issues de sources fiables et officielles. ■

1. European Community Urgent Radiological Information Exchange (Ecurie)
 2. European Radiological Data Exchange Platform (Eurdep).
 3. <https://eurdep.jrc.ec.europa.eu/>

Le fonctionnement des balises Téléray

420 balises installées pour mesurer le rayonnement gamma ambiante. Depuis 2002, Téléray est un système centralisé qui collecte les données depuis 2002, Téléray...

1

Une balise mesure un rayonnement

Elle est composée d'une chambre de détection cylindrique scellée, remplie d'un mélange gazeux et traversée par une électrode sous haute tension. Les charges libérées par le passage d'un photon génèrent un **signal électrique** qui, après traitement électronique, incrémente un compteur.

2

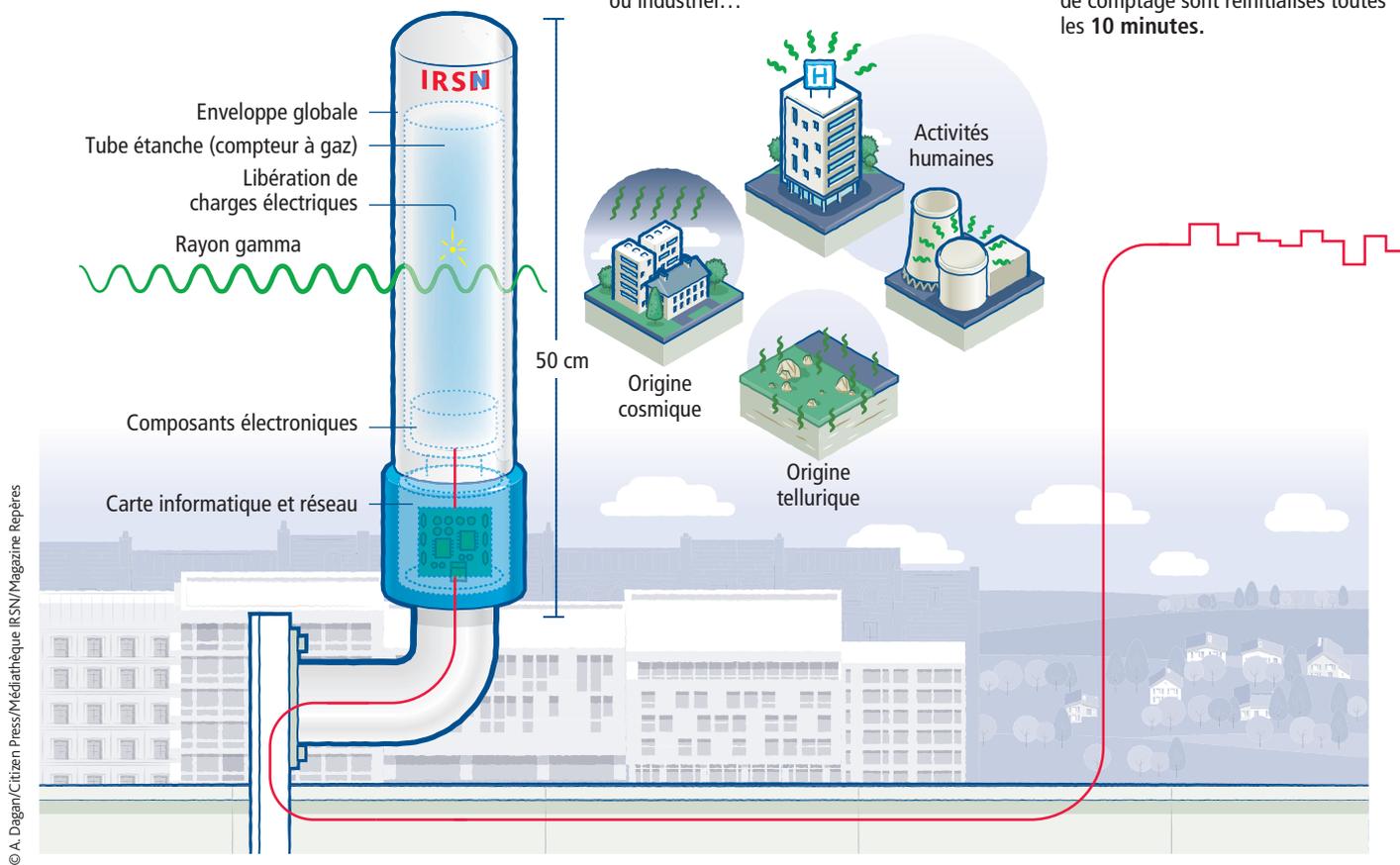
Elle analyse plusieurs sources

Le rayonnement gamma peut provenir de **radioactivité naturelle** d'origine tellurique ou cosmique, mais aussi des **activités humaines** mettant en œuvre des radioéléments artificiels : installations nucléaires, centres de stockage et retraitement des déchets, secteur médical ou industriel...

3

Elle relève des mesures en permanence

À partir du taux de comptage mesuré, la balise fournit un **débit d'équivalent de dose ambiant** $H^*(10)$, exprimé en nanosieverts par heure (nSv/h). Les cycles de comptage sont réinitialisés toutes les **10 minutes**.



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



Martial Chevreuil, technicien au laboratoire de télédétection, installe une balise Téléray sur le toit d'un bâtiment à Sainte-Marie (Martinique).

© Vincent Malfait/Médiathèque IRSN

L'IMPLANTATION

420 balises sont installées dans l'Hexagone et outre-mer : plus de 300 dans les agglomérations proches des installations nucléaires – en général dans des brigades de gendarmerie – et une centaine sur le reste du territoire – dans les préfectures et sous-préfectures –, soit au moins une balise par département. Certaines sont implantées dans des lieux particuliers comme la tour Eiffel ou le pic du Midi de Bigorre (Hautes-Pyrénées), voire à l'étranger, à l'ambassade de France à Tokyo.

LA MAINTENANCE

La surveillance des balises se fait à distance. Les données transmises comprennent des informations sur leur état technique¹ : température, tension... Les élévations du débit d'équivalent de dose sont parfois dues à des dysfonctionnements électroniques qui imposent le remplacement de certaines d'entre elles.

1. L'IRSN centralise les données provenant de Téléray et des balises de différents exploitants partenaires, le principal étant EDF.

ées sur le territoire mesurent en continu la radioactivité. Les données sont transmises toutes les 10 minutes à l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN). Mis en place en 1991 et géré par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), le réseau national de télémesure.

4

Les données sont transmises...

Elles sont immédiatement envoyées au centre de supervision de l'IRSN, au Laboratoire de télédétection du Vésinet (Yvelines), puis évaluées par un algorithme de validation. En cas d'anomalie radiologique, une alerte est transmise à un agent d'astreinte.

5

L'information est diffusée

Les mesures du réseau Téléray sont diffusées au grand public, qui peut connaître l'état radiologique de son environnement en temps réel.



... et analysée par des experts

Ils étudient en détail le signal de la balise et de ses voisines, tiennent compte de la météo et font appel aux correspondants locaux et exploitant pour déterminer l'origine de l'élévation.

Si l'anomalie est avérée, l'alerte est déclenchée

L'agent d'astreinte Téléray contacte le cadre d'astreinte qui peut alors gérer le centre technique de crise (CTC) de l'IRSN.

LA PRÉCISION

L'altitude, les caractéristiques géologiques ou géographiques et la présence de matériaux de construction influencent la radioactivité ambiante. Chaque balise Téléray mesure un débit d'équivalent de dose moyen représentatif de son environnement, qui sert de référence pour détecter les variations sur le site. En France, il varie de 60 à 260 nSv/h.

OÙ CONSULTER LES MESURES ?

Les mesures de Téléray sont mises à disposition du public sur 3 supports :

- L'application smartphone pour Android et iOS : <http://teleray.irsn.fr>
- Le site du Réseau national de mesures de la radioactivité dans l'environnement (RNM) : <https://www.mesure-radioactivite.fr>
- Le site d'Eurdep : <https://remap.jrc.ec.europa.eu/Consent/GammaDoseRates.aspx>



WEBMAGAZINE

Les balises autour de la centrale de Gravelines.

AVIS D'EXPERT



Erwan Manach

Expert en télémesure dans l'environnement à l'IRSN

De nouvelles balises pour affiner les mesures



Le réseau Téléray s'enrichit de balises de nouvelle génération pour améliorer la gestion des alertes. Équipées de spectromètres gamma, des détecteurs plus performants que les compteurs à gaz actuels, elles mesurent l'énergie des rayonnements. Actuellement, pour limiter les alertes fortuites, le seuil d'alerte est fixé à 40 nanosieverts par heure au-dessus du bruit de fond de référence. Compte tenu de la précision des futures mesures, il pourrait être ramené à quelques nanosieverts par heure. Ces balises ne sont pas destinées à remplacer celles du parc actuel, mais à les compléter. Judicieusement localisées dans le réseau, elles permettront, en cas d'événement radiologique, de caractériser l'origine – naturelle ou artificielle – de la radioactivité. Car parfois, celle-ci peut être induite par les précipitations, qui rabattent au niveau du sol les gaz radioactifs – comme le radon – naturellement présents dans l'atmosphère. Créé en 1991, le réseau Téléray a commencé à se moderniser dès 2010, avec la densification de l'implantation des balises – passées de 150 à 420 – et la rénovation du système de transmission comme de traitement des données.



CONTACT

Erwan Manach
erwan.manach@irsn.fr
 01 30 15 52 40

Les questions du public à l'occasion des réexamens de sûreté

Viellissement, fusion du cœur, agressions naturelles : voilà des thèmes abordés avec le public lors de la concertation organisée pour le quatrième réexamen des réacteurs de 900 MWe. À Saint-Laurent-Nouan (Loir-et-Cher), associations et riverains ont exprimé leurs inquiétudes et attentes en matière de sûreté.

1 Pourquoi consulter le public lors du quatrième réexamen de sûreté ?

Didier Narbeburu est membre du réseau Sortir du nucléaire, Jean-Claude Lucas est retraité, ancien chaudronnier chez EDF, et Ulf Allerheiligen est membre du Comité de défense du Verdelet et du Val de Loire. Ils étaient tous présents dans la salle polyvalente de Saint-Laurent-Nouan (Loir-et-Cher) le 13 décembre 2018, lors de la réunion de concertation publique¹. Les thèmes abordés portaient sur la fusion du cœur, les générateurs de vapeur et le stabilisateur de corium. Quelque 160 personnes sont venues s'informer et poser des questions sur les moyens prévus pour poursuivre le fonctionnement des réacteurs avec des exigences de sûreté renforcées. Tous les 10 ans, les centrales font l'objet d'un réexamen de sûreté. Pour celles qui approchent 40 ans – comme Saint-Laurent-Nouan –, un quatrième réexamen est prévu. La consultation porte sur la phase générique, concernant les réacteurs de 900 MWe.



Jean-Claude Lucas, retraité, ancien chaudronnier EDF.

Des experts de l'IRSN, de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et de la Commission locale d'information (CLI) ainsi que le directeur de la centrale ont répondu aux interrogations. Le public, réparti en sous-groupes, s'est exprimé sur la pertinence du niveau de sûreté et les améliorations envisagées. Ces échanges ont fait émerger des propositions, par exemple pour éviter que le corium ne perce le radier² en cas d'accident grave, ou prendre en compte les effets du changement climatique. Jean-Claude Lucas conclut d'une formule qui résume bien l'état d'esprit général : « *Même si elle a un coût, la sûreté n'a pas de prix !* »

1. Organisée de décembre 2018 à mars 2019 par le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN), elle concerne les 32 réacteurs français de 900 MWe.

2. Support en béton sur lequel repose le réacteur.



Didier Narbeburu, membre du collectif Sortir du nucléaire, expose son point de vue.



Face au public, de gauche à droite, Olivier Dubois, expert en sûreté à l'IRSN, Alexandre Houlié, chef de la division d'Orléans de l'ASN, Jean-Claude Cervantès, directeur de la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux (Loir-et-Cher), Claude Denis, président de la CLI de Saint-Laurent-Nouan (Loir-et-Cher), Claude Chardonnet, modératrice, et Marianne Azario, garante de la concertation.

2 Peut-on se prémunir des effets du vieillissement sur ces réacteurs ?

En France, la réglementation ne fixe pas de durée de fonctionnement maximum pour les réacteurs. Quarante années est un cap significatif, car certains composants ont été conçus avec une hypothèse de 40 ans de fonctionnement.

Les réexamens périodiques sont l'occasion de contrôler le vieillissement des réacteurs. EDF doit par exemple démontrer que les parties non remplaçables de ses installations – notamment les cuves de réacteur et les enceintes de confinement – sont conformes et aptes à la poursuite de l'exploitation.

3 Pourquoi vouloir rapprocher leur niveau de sûreté de celui défini pour l'EPR³ ?

Didier Narbeburu s'étonne de cette référence récurrente à la troisième génération de réacteurs qui est loin d'avoir fait ses preuves. Alexandre Houllé, chef de la division d'Orléans de l'ASN, rappelle que viser des objectifs de sûreté fixés pour les réacteurs les plus récents fait progresser la sûreté des plus anciens. Il s'agit par exemple d'empêcher le

perçement du radier en cas de fusion du cœur, de minimiser les rejets dans l'environnement ou d'accroître le délai de possibilité d'intervention en cas d'accident. L'avis de l'IRSN émis en juillet 2018⁴ propose des modifications en ce sens.

3. Réacteur pressurisé européen (EPR), dit de troisième génération.

4. Avis IRSN : www.irsn.fr/2018-00217



Olivier Dubois, expert en sûreté à l'IRSN, répond aux questions.

4 Que se passerait-il en cas d'un accident de fusion de cœur ?

Jean-Claude Cervantès, directeur de la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux, décrit le dispositif – inspiré de la conception des EPR – pour récupérer le corium sous la cuve et éviter des rejets dans le milieu naturel. En cas de rupture de cuve, le cœur fondu tomberait dans une chambre d'étalement où il serait ensuite noyé pour être refroidi. « Les experts travaillent depuis longtemps sur les dispositions de maîtrise d'un tel accident. Ils rendront un avis sur la solution proposée par EDF en 2019 », précise Olivier Dubois, expert en sûreté à l'Institut. Cet avis traitera de la maîtrise de l'étalement à sec du corium, de la fiabilité des dispositions de noyage et de la capacité de refroidissement et de stabilisation du corium. Jean-Paul, du Comité de défense du Verdelet et du Val de Loire, s'avoue rassuré par ce dispositif.

Reportage photo : © Sophie Brändström/Signatures/Médiathèque IRSN



Marianne Azario est l'une des deux garantes du processus de concertation.

5 Les protections contre les agressions naturelles seront-elles renforcées ?

Le public pose des questions sur les diesels d'ultime secours (DUS), capables de garantir le refroidissement des réacteurs en cas de perte totale d'alimentation électrique. L'exploitant explique d'autres renforcements envisagés : consolidation de la résistance aux séismes, rehaussement des digues et des talus de protection contre les inondations, création de sources d'eau diversifiées, mise en place d'un moyen de refroidissement mobile...

Un avis de l'IRSN sur les renforcements face aux agressions a été rendu début 2019. L'exploitant répond aux interrogations sur l'impact du changement climatique, mais ne souhaite pas détailler les mesures relatives aux menaces terroristes, qui inquiètent la salle. « Nous avons bien noté que nous devons faire un effort pour vous rassurer à ce sujet », conclut la modératrice de la consultation.

Unités de recherche

La radioprotection est organisée en réseau

Pour assurer la radioprotection de ses personnels, exposés à des sources variées et dispersées dans des laboratoires aux quatre coins de la France, l'Inserm s'appuie sur un réseau de 150 acteurs. Illustration à Caen.

Boulevard Henri-Becquerel, codécouvreur de la radioactivité naturelle avec Pierre et Marie Curie : une adresse bien nommée pour Cyceron, plateforme d'imagerie biomédicale à Caen (Calvados). Dans ces laboratoires, les rayonnements ionisants sont omniprésents. La radioactivité est une propriété précieuse pour visualiser l'invisible : la consommation de glucose par une tumeur, le parcours d'un médicament dans le sang... L'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) est partie prenante des laboratoires Cyceron avec huit autres organismes, dont le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). Et l'IRSN est à ses côtés pour prévenir les risques radiologiques.

Un réseau engagé pour la radioprotection

Les laboratoires caennais ne sont pas les seuls de l'Inserm à abriter des activités faisant appel aux rayonnements. Au total, 90 unités sont concernées. Chercheurs, ingénieurs et techniciens sont exposés au risque radiologique un peu partout en France : irradiation par un faisceau de rayons, contamination de la peau par une substance radioactive... Pour assurer leur sécurité, un réseau de 150 personnes compétentes en radioprotection (PCR) a été créé. Il est piloté par un expert national du risque radiologique, Marie-Lène Gaab, ingénieure en physique nucléaire. Son rôle : apporter un appui à tous les garants de la radioprotection des travailleurs sur le terrain. Elle parcourt la France pour former au risque radiologique les médecins du travail, assistants de prévention et autres acteurs de la radioprotection. Elle visite les structures de recherche pour vérifier que les règles sont appliquées et accompagne les PCR dans leurs missions de dosimétrie, de zonage... C'est dans les laboratoires de Cyceron qu'elle



Ahmed Abbas, personne compétente en radioprotection (PCR) du secteur médical (à gauche), et Mathilde Boulanger, médecin du travail (à droite). Spécialistes de leur domaine, les PCR connaissent les sources de rayonnement, les risques d'exposition et les moyens de radioprotection à utiliser.

a reçu la rédaction du magazine *Repères* et fait partager son quotidien.

Des réponses à tous les risques

Edra Antony Francis est conseillère de prévention pour les laboratoires de la délégation régionale Paris 11. Sur les 42 unités à sa charge, seules neuf utilisent des sources radioactives. La spécialiste s'appuie sur la veille réglementaire réalisée par Marie-Lène Gaab et se tourne vers elle lorsqu'elle est confrontée à une question, par exemple lorsqu'il faut éliminer des déchets historiques sur un site sans PCR. « *Les agents font plus attention au risque radiologique qu'au risque chimique ou biologique, parce qu'il fait davantage peur et que la réglementation est très stricte*, note-t-elle. *Le risque est donc maî-*

trisé : entre Marie-Lène, le réseau des PCR et les experts des structures auxquelles sont rattachés nos laboratoires, nous trouvons toujours une réponse. » ■

 **DIAPORAMAS**
Retrouvez tous les reportages!



Les acteurs et les mesures de la radioprotection à Cyceron

www.irsn.fr/r41



Formation des médecins du travail

À l'Inserm, Marie-Lène Gaab, experte nationale du risque radiologique, et Christine Bartzel, biologiste médicale à l'Institut, forment les médecins du travail chargés du suivi du personnel exposé aux rayonnements ionisants. La formation aborde la théorie et la pratique de la radioprotection, avec des études de cas et exercices de calcul de dose intégrée.



Contrôle biométrique

Premier élément de sécurité : ouvrir l'accès des laboratoires uniquement aux personnes habilitées. Leur aptitude médicale a été vérifiée, elles ont été formées au risque radiologique et sont équipées de dosimètres passifs – corps entier, voire bague pour les manipulateurs de sources – et opérationnels, adaptés aux sources de rayonnement exposant dans la zone.



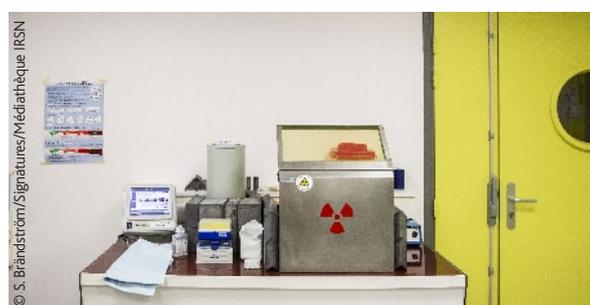
Décontamination immédiate

Après toute manipulation, l'absence de radioactivité sur les surfaces et personnes est vérifiée avec un « contaminamètre ». Si une goutte de liquide radioactif tombe au sol, celui-ci sera nettoyé. Si elle touche une chaussure, celle-ci sera mise en quarantaine le temps que la radioactivité décroisse. Ici, Carole Brunaud (à gauche), PCR du secteur radiobiologie, et Palma Pro, PCR du secteur préclinique.



Échange et diffusion des savoirs

Lors des réunions du réseau des conseillers de prévention, Marie-Lène Gaab présente les actualités internes en radioprotection : date et programme de la prochaine rencontre du réseau de PCR, diffusion de fiches et guides... Elle partage la veille réglementaire sur les aspects liés à la recherche biomédicale, par exemple sur les évolutions de décrets.



Organisation du laboratoire

Des voyants lumineux alertent sur l'utilisation en cours de rayonnements et des trèfles de couleur différente précisent le niveau de risque. Des consignes sont affichées à l'entrée de chaque zone pour rappeler leur signification. Tous les agents reçoivent une note adaptée, voire une formation spécifique en radioprotection, pour évoluer en toute sécurité dans la structure.

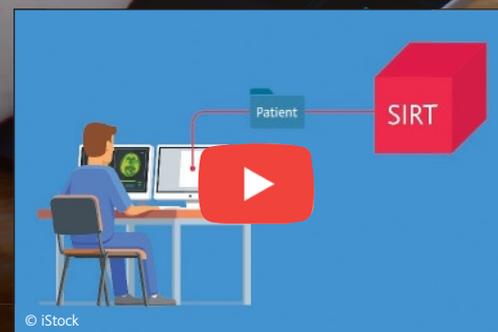


Avec le webmagazine, accédez à des contenus exclusifs

Le magazine *Repères* existe au format numérique.

Des contenus complémentaires sont publiés : articles, vidéos, reportages photo et infographies. Découvrez, grâce à des vidéos pédagogiques, la prévention des événements en radioprotection dans le médical, l'intervention des sapeurs-pompiers lors d'un exercice de crise ou encore les règles de radioprotection au musée du Louvre...

Connectez-vous sur www.irsn.fr/reperes pour accéder à ces prolongements web, commander des anciens numéros ou choisir le format de votre abonnement.



Pour en savoir plus

www.irsn.fr/reperes

