

Repères



Le magazine d'information de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire

IRSN
N°15
octobre 2012



EN PRATIQUE

Le zonage en
gammagraphie
industrielle

FAITS ET PERSPECTIVES

Les colis de matières
radioactives soumis
à rude épreuve

DOSSIER

Mieux protéger le patient
en **radiothérapie**

Retrouvez chaque trimestre une sélection de manifestations, événements, nouveautés... de l'IRSN.

Rapport sur les expositions professionnelles aux rayonnements ionisants

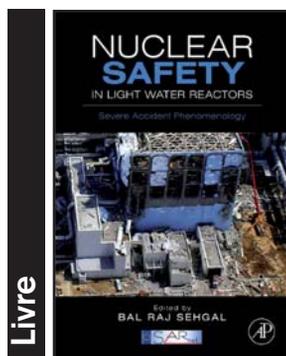


Le bilan 2011 de la surveillance des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants est disponible depuis début juillet sur le site Internet irsn.fr.

Cet état des lieux annuel, réalisé par l'Institut, présente l'évolution du nombre de travailleurs suivis et leurs niveaux d'exposition. Il fait notamment le bilan des dépassements des limites réglementaires de dose.

Pour faciliter la lecture, ces données sont classées par grands domaines d'activité : médical et vétérinaire, nucléaire civil et défense, industriel non nucléaire, recherche, ou activités concernées par une exposition à la radioactivité naturelle.

siseri.irsn.fr, rubrique Bilans
> Bilan exposition travailleurs



L'ouvrage *Nuclear Safety in Light Water Reactors* ("sûreté nucléaire dans les réacteurs à eau légère") décrit trente ans de recherche sur la phénoménologie des accidents de fusion de cœur de réacteurs nucléaires de générations II et III avec un point d'arrêt sur l'accident de Fukushima. Cet ouvrage se concentre sur la prévention et la gestion de ces accidents graves. Il traite aussi de l'élaboration de méthodologies pour évaluer les conséquences et les risques associés. Les 700 pages ont été nourries par les travaux du réseau européen Sarnet¹, coordonné par l'IRSN. Quarante-cinq auteurs, dont neuf experts de l'Institut, ont contribué à sa rédaction.

1. Severe Accident Research Network of Excellence.

www.elsevier.com, rubrique Books and Journals



L'Institut sera présent aux 8^{es} Rencontres des personnes compétentes en radioprotection (PCR), les 29 et 30 novembre à Issy-les-Moulineaux (Hauts-de-Seine). Dans un souci de partage d'information, plusieurs experts participeront à des conférences sur des thèmes tels que : le suivi dosimétrique des travailleurs, la gestion des sources et des déchets radioactifs, les études de poste, le zonage mais aussi l'assistance technique... Ces spécialistes seront à l'écoute des PCR sur le stand de l'IRSN.

www.sfrp.asso.fr, rubrique Manifestations



Pour la première fois, l'exposition itinérante Gafforisk sera présente dans deux manifestations (porte de Versailles à Paris) : le Salon des maires et des collectivités locales, du 20 au 22 novembre, et le Salon européen de l'éducation, du 22 au 25 novembre. Elle informe sur la radioactivité et sensibilise aux risques liés à un accident nucléaire, notamment celui de Fukushima. Cette exposition est offerte aux établissements scolaires et aux mairies qui en font la demande. Dans les lieux d'accueil, elle peut être animée par un expert de l'Institut. Nouveauté : la projection de films pour mieux comprendre l'impact de la catastrophe du Japon sur l'environnement et sur l'homme.

Tél. : 06 87 77 21 53 – Courriel : genevieve.baumont@irsn.fr



En couverture : Céline Bassinet, chercheuse à l'IRSN, et Michel Chea, physicien médical à la Pitié-Salpêtrière (Paris), collaborent à l'étude de la mesure de la dose absorbée dans les minifaisceaux utilisés en radiothérapie stéréotaxique. Crédit photo : Laurent Zylberman/Graphix-Images/IRSN

INTÉRÊT PUBLIC

09 Que mangent les riverains autour des centrales ?

EN PRATIQUE

17 Délimiter une zone lors de tirs de gammagraphie industrielle

EN DÉBAT

20 Comment répondre aux préoccupations des Français face au risque nucléaire ?

STRATÉGIE

22 Des programmes scientifiques pour répondre à des questions d'avenir

23 Partager et élargir sa connaissance scientifique

À lire dans le prochain numéro du magazine *Repères* (sortie janvier 2013)
Dossier Démantèlement

TEMPS FORTS

04 Programme Phébus PF : mieux connaître les phénomènes survenant lors d'une fusion de cœur • Fluxmètre thermique inverse, futur brevet de l'IRSN • Plus proche des attentes des médecins du travail • Entraînements de crise à l'IRSN • Guides Etson pour harmoniser les études de sûreté en Europe

FAITS & PERSPECTIVES

06 Les colis de matières radioactives soumis à rude épreuve



DOSSIER

10 Mieux protéger le patient en radiothérapie

Soigner en toute sûreté

Traitement incontournable de beaucoup de cancers aujourd'hui, dans une dynamique d'innovation, la radiothérapie est d'une nécessité absolue. Cependant, patients et professionnels ont encore en mémoire le traumatisme d'Épinal. L'Institut a tiré des enseignements des accidents d'irradiation dans le but d'améliorer cette technique d'avenir en constante évolution. L'important travail exploratoire s'est porté à la fois sur la délivrance des doses et la maîtrise des risques.

Les chercheurs de l'IRSN se mobilisent aussi auprès des professionnels concernés pour soutenir le renforcement des bonnes pratiques. Plusieurs voies d'amélioration sont étudiées parallèlement : une caractérisation approfondie des doses délivrées, un encadrement renforcé des pratiques et du matériel utilisé, une meilleure connaissance des risques liés aux facteurs humains et organisationnels...

Le dossier de ce numéro présente les avancées scientifiques en cours, afin que la radiothérapie soit plus sûre.

Agnès Buzyn,
présidente du conseil
d'administration
de l'IRSN



Luc Benevillo/IRSN

Pour dialoguer avec

un expert de l'IRSN :
reperes@irsn.fr

Pour vous **abonner**
irsn.fr
rubrique
Publications



Les 10 ans de l'IRSN

Cette année, à l'occasion de ses 10 ans, l'IRSN présente des exemples de son apport à l'avancée de la sûreté nucléaire et de la radioprotection.

Réexamens de sûreté du parc nucléaire français

Tous les dix ans, la sûreté de chacun des 58 réacteurs EDF est réexaminée en profondeur. Les objectifs sont de vérifier leur niveau de sûreté et de déterminer les améliorations nécessaires à leur poursuite d'exploitation. L'IRSN est l'expert technique chargé de veiller à ce que ce check-up décennal permette de faire avancer autant que possible la sûreté des installations nucléaires.

"Lors du réexamen associé aux VD3 des 34 réacteurs de 900 MWe, la définition des nouvelles exigences et l'évaluation des dispositions proposées par EDF ont nécessité 1 500 hommes/jour à l'IRSN, se remémore Christian Pignolet, chef du bureau des réexamens de sûreté à l'IRSN. Sans compter les évaluations menées à l'issue de ces VD3, réalisées sur ces réacteurs à partir de 2009."

Dans l'intervalle, alors que la VD2 des 20 réacteurs de 1300 MWe se déroule depuis 2005, l'IRSN évalue depuis 2009 les études en vue de leur VD3.

Pour plus d'information :
www.irsn.fr/ivd3/

I En chiffre...

343 988

travailleurs exposés à des sources de rayonnements ont été surveillés par dosimétrie externe passive en 2011. Ceci représente une augmentation de 4% par rapport à 2010.

Source IRSN

Programme Phébus PF

Mieux connaître les phénomènes survenant lors d'une fusion de cœur

Le plus important programme de recherche au monde sur les accidents de fusion de cœur de réacteur nucléaire s'est achevé cette année. "Phébus PF¹ a permis de constituer une base de données expérimentales qui fera référence pendant au moins deux décennies dans les études de sûreté relatives aux accidents graves." C'est la certitude énoncée par Jean-Claude Micaelli, directeur de la recherche en sûreté à l'Institut. Il concluait ainsi le séminaire de clôture de ce programme, à Aix-en-Provence du 13 au 15 juin dernier. "Lancé en 1988 par l'IRSN avec la Commission européenne et EDF, Phébus PF a mobilisé de nombreux pays : Europe, États-Unis, Canada, Japon, Corée du Sud et Suisse, sans oublier 80 collaborateurs de l'IRSN à temps plein", rappelle-t-il.

Plusieurs années furent nécessaires pour valider les résultats obtenus au cours des cinq essais de fusion de cœur réalisés à l'échelle 1/5000 entre 1993 et 2004 dans le réacteur d'expérimentation Phébus du CEA² de Cadarache (Bouches-du-Rhône). Les premiers traitements de données ont montré l'importance des interactions entre combustible et matériaux de structure de cuve dans les processus de dégradation de cœur ainsi que le couplage



P. Dumas/CEA

Les 5 essais Phébus PF ont amélioré la simulation des accidents de fusion de cœur d'un réacteur.

entre cinétiques de relâchement des produits radioactifs et phénomènes de dégradation de ce cœur. "La complexité de la chimie de l'iode dans les circuits ainsi que l'importance de ses réactions avec les peintures de l'enceinte de confinement" sont soulignées par Jean-Claude Micaelli. Reste à répondre aux questions soulevées par ce programme au moyen d'expérimentations analytiques à plus petite échelle. ■

Pour plus d'information :
www.irsn.fr/phebus/

1. Produits de fission.
2. Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.

Fluxmètre thermique inverse

Un futur brevet de l'Institut

Connaître l'évolution des transferts de chaleur à une paroi... Cette donnée très utile en cas d'incendie en espace confiné est désormais mesurable grâce au fluxmètre thermique inverse, mis au point par l'IRSN et l'université de Marseille (Bouches-du-Rhône). "Les fluxmètres actuels ne répondaient que partiellement à nos besoins expérimentaux en milieu agressif. Nous avons décidé, en 2007, de développer notre propre dispositif", se remémore Mickaël Coutin, ingénieur-chercheur spécialisé en feux à l'IRSN.

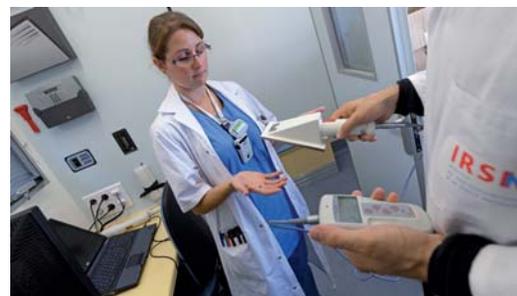
Le brevet de ce nouvel appareil devrait être publié en juin 2013. Il présente plusieurs avantages : sa précision, sa fiabilité et sa robustesse. La spécificité de ce nouveau fluxmètre est de s'autoétalonner grâce, notamment, à un dispositif permettant de quantifier les propriétés thermiques du matériau dont est constituée la paroi. Il pourrait être utilisé pour des mesures directes de flux de chaleur ou pour le suivi de l'évolution du flux sur de longues durées et dans un environnement pouvant être agressif. Il pourrait également avoir d'éventuelles applications grand public, comme le suivi de la dégradation des propriétés thermiques des matériaux de construction, la détection d'incendie ou la régulation de température des bâtiments. ■

Radioprotection

Plus proche des attentes des médecins du travail

L'information et la formation sont deux attentes importantes des médecins du travail, dans le domaine de la radioprotection. Afin d'y répondre, l'Institut se rapproche et se met à l'écoute de ces praticiens. C'est pourquoi il a participé pour la première fois au Congrès national de médecine et santé au travail, qui s'est déroulé à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme) du 5 au 8 juin dernier. Pour le Dr Marie-Catherine Rouillet Volmi, du SEST¹, "l'IRSN est à même de répondre à ces attentes par le biais de présentations pragmatiques des bases de la réglementation et des procédures".

Nicolas Michel, chargé du développement commercial à l'Institut, confirme : "Les sollicitations récurrentes depuis Fukushima nous ont incités à nous rapprocher des médecins du travail pour leur faciliter l'accès à notre expertise." Différentes actions et moyens sont déployés : présence sur un stand pour les échanges, organisation d'ateliers pratiques (sur le thème de la dosimétrie ou du Siseri²), visites du laboratoire mobile d'anthroporadiométrie... L'Institut renforcera les formations continues en radioprotection, en particulier la formation "médecin du travail". Celle-ci va passer à trois



Le laboratoire mobile d'anthroporadiométrie de l'IRSN se déplace sur site. Ici, au CHU d'Angers (Maine-et-Loire).

jours en 2013 et inclure une initiation à Siseri. "Incontournable lien entre l'IRSN et nous, cet outil informatique complexe gagnerait à être explicité, pour une utilisation optimale", estime le Dr Rouillet Volmi. ■

1. Service aux entreprises pour la santé au travail en Île-de-France.
2. Système de centralisation et conservation des résultats des mesures individuelles de l'exposition des travailleurs.

Entraînements de crise à l'IRSN

Les moyens humains et matériels sont testés régulièrement

Maintenir les compétences et tester les capacités de crise est un impératif. Il faut être apte à réagir à tout incident ou accident nucléaire. En plus des exercices nationaux, l'IRSN a développé ses propres simulations. "Depuis 2010, une quinzaine d'équipiers de crise participent deux fois par an à des entraînements en conditions réelles. Ils testent des véhicules-laboratoires permettant d'analyser immédiatement des échantillons prélevés dans l'environnement

(terre, herbe...). Cet été, un exercice a été mené en Auvergne. Nous avons pu expérimenter pour la première fois le véhicule dédié à la préparation des échantillons", explique Philippe Dubiau, responsable des moyens d'intervention à l'IRSN. Le prochain exercice, organisé à la rentrée avec le service départemental d'incendie et de secours de Seine-et-Marne (SDIS 77), renforcera la coopération avec les pompiers.

De leur côté, les 15 membres du laboratoire d'analyses radiotoxicologiques ont passé un premier "test sous contrainte opérationnelle", le 12 juin au Vésinet (Yvelines). "En analysant 75 échantillons potentiellement contaminés en moins de dix heures, nous avons éprouvé notre capacité opérationnelle en cas d'afflux lié à un accident de contamination de la population", témoigne Patrice Boisson, spécialiste en radiotoxicologie. Il attend le retour d'expérience pour en tenir compte dans les exercices suivants. ■



Trois véhicules-laboratoires permettent des analyses immédiates et *in situ* des échantillons prélevés.

Télex

L'IRSN participe depuis l'automne 2011 à une démarche pluraliste de prévention du risque radon en Franche-Comté. Après plusieurs réunions des trois groupes de travail, une première séance plénière, le 23 mai dernier, a initié des chantiers concrets : la formation de professionnels du bâtiment, l'insertion dans les réseaux de santé, la participation à des études sur le radon et la qualité de l'air intérieur...

AG d'Eton

Des guides pour harmoniser les études de sûreté en Europe

"Ces douze guides permettront aux membres du réseau Eton¹ de progresser vers une harmonisation des pratiques en matière d'études de sûreté à l'échelle européenne." Pour Philippe Volant, expert de l'IRSN au sein du réseau européen des organismes d'appui technique aux autorités de sûreté nucléaire, l'assemblée générale s'est révélée concluante. À Helsinki (Finlande), les 26 et 27 juin derniers, Eton a entériné ses grands axes de travail pour les mois à venir. Il a notamment mis l'accent sur le suivi de la rédaction de ces guides. Les deux premiers, sur les accidents graves et les facteurs humains, devraient être disponibles en fin d'année. Rejoint par deux nouveaux membres, la Suisse et la Russie, le réseau prépare aussi un site Internet présentant ses actions et travaille au développement d'un intranet "favorisant la mutualisation des bases de données, pour une meilleure prise en compte de la sûreté nucléaire et de la radioprotection au-delà des frontières".



Pour plus d'information : www.irsn.fr/etson/

1. European Technical Safety Organisations Network, réseau européen des organismes techniques de sûreté.



1 Olivier Seignette/Mikael Lafontani/IRSN



2 Michaël Kloiber/GNS m.BH

Les colis de matières radioactives à rude épreuve pour résister aux

Sûreté des transports. 900 000 colis de substances radioactives circulent chaque année en France. Ils ne doivent en aucun cas laisser échapper leur dangereux contenu. Les experts de l'Institut évaluent leur sûreté, et notamment leur résistance aux tests simulant les accidents.

Nom de code : TN833. Catégorie : emballage de transport de matière radioactive. Concepteur : TN International, filiale d'Areva. Mission : transporter des déchets bitumés produits dans l'usine de retraitement Areva de La Hague (Manche). Avant de recevoir l'agrément qui lui permettra de remplir sa mission, la sûreté de cet emballage doit être démontrée, sous l'œil scrupuleux des experts de l'IRSN.

Une expertise très cadrée

Chaque année, 900 000 colis de substances radioactives circulent sur le territoire français, par route, rail, mer ou air. "Plus de la moitié sont destinés aux contrôles techniques : appareils de gammagraphie pour vérifier les soudures, analyseurs de plomb pour les

diagnostics immobiliers... Un quart est destiné au secteur médical pour des radiothérapies, des examens à l'iode radioactif... Et les 15 % restants correspondent au cycle du combustible ou à la recherche nucléaire", résume Colette Clément, experte de l'Institut mise à la disposition de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), où elle a la responsabilité du bureau du contrôle de la sûreté des transports.

Afin d'assurer la protection des personnes, des biens et de l'environnement contre les effets des rayonnements ionisants, une réglementation internationale fixe des règles précises. Elles doivent permettre "de maintenir le confinement de la matière; d'éviter le démarrage d'une réaction en chaîne au sein de la matière transportée; de limiter le débit de dose à l'extérieur du colis et les conséquences de la chaleur produite", énumère Marie-Thérèse Lizot, chargée de valider les avis relatifs à la sûreté des transports, rendus par les équipes d'experts de l'IRSN.

En pratique, selon la dangerosité de la substance transportée (niveau de

radioactivité, matière fissile¹ ou non) et le mode de transport, les colis sont classés par types, chacun devant passer avec succès un certain nombre d'épreuves. Ceux avec un risque très limité n'auront pas besoin de résister à des épreuves simulant des accidents. De même, il est inutile que ceux destinés au transport par route soient dimensionnés pour faire face à un accident d'avion. "Au regard des quelques accidents survenus dans les dernières décennies, les épreuves définies n'ont pas été mises en défaut, estime Gilles Sert, expert à l'IRSN chargé de la sûreté des transports de matières radioactives, qui valide les avis adressés aux autorités de sûreté. En 2007, une camionnette transportant un colis contenant une source de césium 137 a brûlé. L'examen a montré qu'il était resté intègre."

Au crible avant même leur naissance

Pour garantir un tel niveau de sûreté, la conception des emballages est expertisée : "Les spécialistes de l'IRSN sont sollicités en amont pour rendre un avis sur ce que l'on appelle le dossier d'options de sûreté. Il décrit les hypothèses et les méthodes choisies par le concepteur de l'emballage pour en démontrer la conformité à la réglementation", explique Gilles Sert. Dès lors, les allers-retours sont nombreux entre l'IRSN et le concepteur. Par exemple, les experts

CHIFFRES

- **D'un kilo à 130 tonnes**, c'est la masse d'un colis constitué d'un emballage et de la substance radioactive transportée.



Noak/Le bar Floreal/IRSN

La masse d'un colis varie de quelques grammes à une centaine de tonnes : 1. Transport d'un flacon d'iode radiopharmaceutique. 2. Un conteneur appelé "château" pour le transport de combustibles irradiés. 3. Lors d'un test, les ingénieurs de l'IRSN contrôlent l'inclinaison du colis avant sa chute sur un poinçon.

es soumis accidents

demandent que soit revu l'angle de chute lors d'une épreuve, afin de simuler une situation plus sévère. "Une fois sa campagne d'essais réalisée, le concepteur transmet à l'ASN et à l'IRSN un dossier de sûreté, comme ce fut le cas en octobre 2010 pour le colis TN833. Suit la saisine du groupe permanent, un comité nommé par l'Autorité et constitué d'experts, dont certains de l'IRSN, d'industriels, comme EDF et Areva, et de représentants des autorités de sûreté étrangères. Sur la base d'un rapport d'expertise réalisé par l'IRSN, et après débats, le groupe remet à l'ASN un avis. Ensuite, l'Autorité émet ou non le certificat d'agrément. Pour le TN833, des études complémentaires ont été demandées."

Plusieurs années sont nécessaires avant l'agrément d'un nouvel emballage, comme le confirme Gilles Sert : "En moyenne cinq ans, sachant que trois ans est un minimum incompréhensible. Certains colis complexes nécessitent dix années d'études entre le besoin initial et l'agrément : conception, dossier d'options de sûreté, tests par l'exploitant, dossier de sûreté, expertises par l'Institut... sont autant d'étapes longues."

Mais la surveillance ne s'arrête pas une fois le précieux sésame de l'agrément obtenu, puisqu'il a une durée limitée : "Nous sommes tenus de renouveler les agréments tous les trois ans pour les anciens colis, ou cinq ans

Des épreuves pour chaque type de colis

Selon la dangerosité de leur contenu, les emballages doivent être en mesure de résister à des situations de gravité différentes. Plus le contenu est dangereux, plus les épreuves à subir sont nombreuses et sévères.

1. Situation de routine : contenus peu dangereux*



Résistance aux effets des accélérations et vibrations



Résistance à une gamme de températures et de pressions

Exemples de colis :
 * Appareil de contrôle de présence de plomb dans les peintures.
 ** Produit radiopharmaceutique.
 *** Colis de combustible irradié au départ d'une centrale nucléaire pour l'usine de retraitement.

2. Situation normale : contenus à dangerosité limitée**



Aspersion
 précipitation de 5 cm/h pendant 1 heure



Gerbage : compression équivalente à 5 fois le poids du colis pendant 24 heures



Pénétration
 chute d'une barre de 6 kg d'une hauteur de 1 m



Chute de 1,20 m maximum suivant la masse du colis, sur une surface indéformable

3. Situation accidentelle : contenus dangereux***



Test du feu
 température de 800 °C pendant 30 minutes



Immersion
 sous 15 m d'eau pendant 8 heures



Chute de 1 m sur un poinçon en acier
 de diamètre 150 mm



Chute de 9 m sur une surface indéformable ou **test d'écrasement** par une plaque en acier de 500 kg chutant d'une hauteur de 9 m

4. Situation d'accident renforcé : contenus les plus dangereux transportés par avion



Test du feu
 température de 800 °C pendant 60 minutes



Immersion
 sous 200 m d'eau pendant 8 heures



Impact à grande vitesse : sur une cible rigide à 90 m/s (324 km/h)



Enlèvement
 échange thermique dégradé autour de l'emballage



Chute de 9 m sur une surface indéformable



Chute de 3 m sur une barre cylindrique
 (hauteur 300 mm, diam. 25 mm en bout)



Écrasement : chute libre d'une masse de 500 kg, d'une hauteur de 9 m (plaque en acier de 1 x 1 m tombant en position horizontale)

3 questions à... **Pierre Malesys,**
spécialiste de la sûreté des transports d'Areva

●●● pour les plus récents, confirme Pierre Malesys, spécialiste de la sûreté des transports d'Areva. *TN International, filiale d'Areva, formule une dizaine de demandes de renouvellement d'agrément par an.* De son côté, l'IRSN émet une centaine d'avis techniques de sûreté des transports par an : agrément, renouvellement, extension...

Robustesse, utilisation et organisation

La sûreté ne se limite pas à la seule robustesse de conception du colis, comme l'explique Colette Clémenté. *"La robustesse ne représente que la première ligne de défense. Il faut aussi que la maintenance de l'emballage soit assurée. Un emballage doit être entretenu pour rester conforme au modèle agréé et être aussi sûr qu'au premier jour. L'ASN contrôle cet aspect par des inspections, rendues parfois difficiles quand la maintenance d'emballages français est assurée à l'étranger. La troisième ligne de défense concerne la préparation aux situations d'urgence. L'Autorité a d'ailleurs préparé, à partir des éléments transmis par l'IRSN, la liste des dispositions à prévoir par l'expéditeur d'un colis, en hommes comme en matériel, pour être capable de faire face à tout accident. Elle devrait paraître en 2012."*

1. Une matière est dite fissile si elle peut subir une réaction de fission induite par un bombardement de neutrons (ex. : un combustible nucléaire).

Quels types d'emballages concevez-vous ?

TN International, filiale d'Areva, conçoit des colis destinés à l'ensemble du cycle du combustible – du minerai au combustible usé –, à tous les modes de transport – camion, train, bateau, avion – et de tous les types réglementaires.

Pourquoi en créer de nouveaux ?

Nous avons sans cesse besoin de nouveaux emballages :

combustibles plus riches en uranium, évolutions réglementaires, attentes spécifiques d'un client... Malgré tout, leur durée de vie dépasse largement les trente ans.

Comment les concevez-vous ?

Tout commence par un cahier des charges qui définit les interfaces – de quelle installation à quelle autre –, les transports, les itinéraires (un tunnel de chemin de fer limite les dimensions). Nous nous interrogeons aussi sur les besoins futurs pour les rendre le plus polyvalents possible.



Areva

En parallèle, afin de faire progresser les connaissances et de mieux maîtriser les risques, des études et recherches sont réalisées. *"Nous avons par exemple étudié le cas d'un colis chutant avec un léger angle. Il percute d'abord le sol avec un bord puis avec l'autre. Contrairement à ce que l'on pouvait penser, le second impact s'avère parfois beaucoup plus sévère que le premier",* explique Gilles Sert.

Fukushima a aussi laissé sa marque : *"En mai dernier, l'ASN a émis l'idée d'étendre aux transports la démarche des évaluations complémentaires de sûreté, explique Marie-Thérèse Lizot. L'IRSN a proposé d'appliquer une démarche du type de celle retenue pour les installations, et les industriels devraient examiner le comportement*

des colis dans des situations extrêmes. Par exemple, combien de temps, au-delà des trente minutes réglementaires, un emballage résiste-t-il à un feu de 800 °C ?" Gilles Sert ajoute : *"Il faudra vérifier que l'organisation est réellement efficace, même lors d'une catastrophe majeure, comme un séisme. Elle produirait simultanément un accident de transport de matière radioactive et mettrait en difficulté une centrale située à quelques kilomètres. Et quid de la capacité d'un colis à dissiper sa chaleur s'il restait enseveli plusieurs jours dans les décombres d'un bâtiment ?"* Autant de situations à examiner... ■

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

AILLEURS Des règles mondiales sans cesse révisées

Les premières règles internationales régissant le transport de substances radioactives ont été publiées en 1961 par l'AIEA¹, rappelle Bill Brach, président du TRANSSC², le comité de l'AIEA chargé des normes de sûreté du transport de matières radioactives. Neuf versions révisées ont été publiées en quarante-huit ans (de 1964 à 2012). *"Ces réglementations ont apporté un excellent niveau de sûreté et l'objectif des révisions est de maintenir ce résultat. Ces changements sont nécessaires au regard des avancées technologiques, de l'expérience pratique et des derniers principes de radioprotection. Le tout en maintenant un cadre stable de dispositions réglementaires."* Généralement, la réglementation est la même dans tous les pays, même si Bill Brach reconnaît des différences à la marge que son comité tente d'harmoniser. Des nuances demeurent dans l'interprétation des textes : *"Entre la France et les États-Unis, l'ordre des épreuves de chute n'est pas exactement le même, ce qui peut modifier les résultats",* illustre Pierre Malesys, spécialiste des transports d'Areva. ■

1. Agence internationale de l'énergie atomique. 2. Transport Safety Standards Committee.



Transport maritime de déchets vitrifiés dans un emballage TN28.

Areva/D&T/TN International

Que mangent les riverains autour des centrales ?

Enquête autour des sites nucléaires. Connaître les habitudes alimentaires des habitants permet de vérifier l'absence d'impact sanitaire des rejets des installations et de mieux protéger la population en cas d'accident. L'IRSN mène l'enquête.

Combien de salades de votre jardin mangez-vous chaque semaine ? Consommez-vous les produits de votre chasse ? C'est le type de questions posées à une centaine de familles vivant autour d'un site nucléaire, fortes consommatrices de productions locales. Un échantillon représentatif des populations qui seraient les plus exposées à une contamination radioactive par l'ingestion d'aliments produits localement. Pour déterminer ce degré d'exposition, l'IRSN a cherché à connaître le contenu des assiettes de ces familles.

"Parce que les habitudes alimentaires varient avec les régions, les données nationales issues d'une enquête de l'Insee étaient trop limitées, explique Vanessa Parache, ingénieure de recherche chargée des enquêtes alimentaires à l'IRSN. Dès 2004-2005, nous avons lancé la première enquête autour du Tricastin [Drôme]." Les suivantes ont permis de cerner les habitudes régionales: Chinon (Indre-et-Loire) en 2008, Marcoule (Gard) en 2010, Gravelines (Nord) en 2011 et Blayais (Gironde) en 2012.

Dans ce travail de collecte, l'IRSN est épaulé par les commissions locales d'information (CLI) pour l'identification des familles les plus à risque: "Il nous a paru intéressant de disposer de données fines sur les habitudes alimentaires de nos populations, dans une zone où l'autoconsommation est répandue, confirme Yves Lheureux, qui a représenté la commission de Gravelines au moment de l'enquête. Les résultats, remis par l'IRSN aux membres de la CLI, nous permettent de mieux connaître les habitudes des populations les plus exposées et donc leur risque."

Parfois, c'est l'exploitant du site qui souhaite actualiser cette connaissance, comme le CEA de Marcoule en 2010. Il informe alors la population, en lien avec la CLI et les maires. "Nous avons préparé le dossier avec la commission,

puis adressé un courrier aux riverains concernés. À l'issue, nous avons organisé une restitution publique par l'IRSN", précise Cédric Garnier, responsable de la communication du centre gardois du CEA. L'enquête détermine une ration alimentaire moyenne par individu et par jour. La dose traduisant l'exposition de la population est calculée à partir de cette ration et de la concentration en radionucléides des aliments qui la composent. "Nous sommes tenus de calculer, chaque année, la dose reçue par les populations les plus exposées, rappelle Christian Federici, responsable du bureau de calcul du CEA de Marcoule.

Les doses estimées en cas d'accident

Nous utilisons le code de calcul Ceres, développé par le Commissariat, et les rations alimentaires évaluées par l'IRSN. Il en ressort que notre site a généré en 2011 une dose¹ de l'ordre de 10 microsieverts, négligeable comparée à l'irradiation naturelle². Mais elle est en légère hausse du fait de l'augmentation de la consommation de fruits et légumes relevée par la dernière enquête de l'IRSN."

CHIFFRE

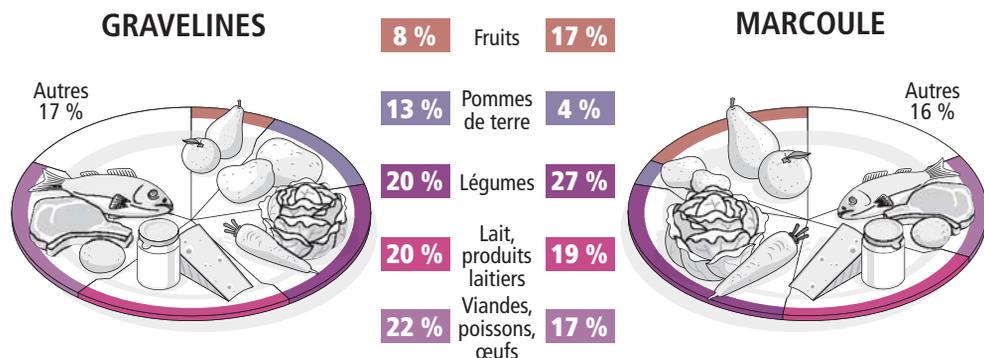
■ Une enquête alimentaire coûte environ **75 000 euros**.

Parallèlement, l'Institut calcule les doses en fonctionnement normal et peut les estimer en cas d'accident. "En cas de crise, le logiciel Symbiose calcule la dose efficace par individu si ces derniers devaient continuer à consommer ces produits, alors contaminés."

Aller au-delà de l'enquête intéresse aussi les riverains. "Nous avons réalisé un croisement avec les concentrations en radionucléides relevées par la CLI dans les jardins associatifs environnant la centrale, histoire de vérifier qu'il n'y avait pas de souci", reconnaît Yves Lheureux. Une curiosité entendue par l'IRSN. Lors de la restitution de l'enquête de Gravelines, l'Institut compte livrer aux habitants les évaluations des rations alimentaires et les estimations des doses ingérées par ces populations les plus exposées. ■

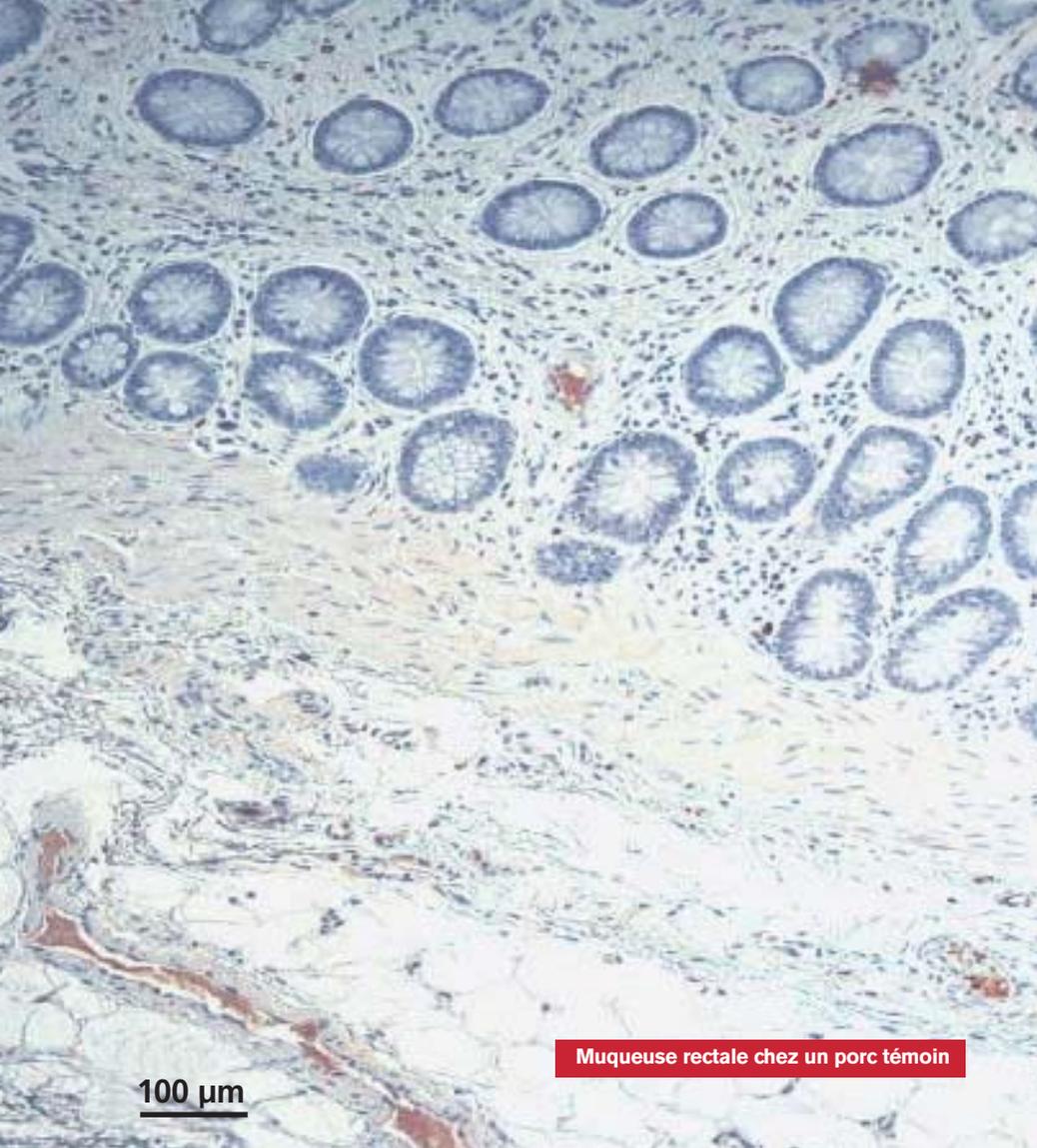
1. Il s'agit de la dose efficace totale à un adulte de la population du groupe de référence.
2. L'irradiation naturelle en France est de 2 à 3 millisieverts (mSv) par an et par individu, soit 2000 à 3000 microsieverts.

L'assiette type* des populations vivant à proximité de deux sites nucléaires français



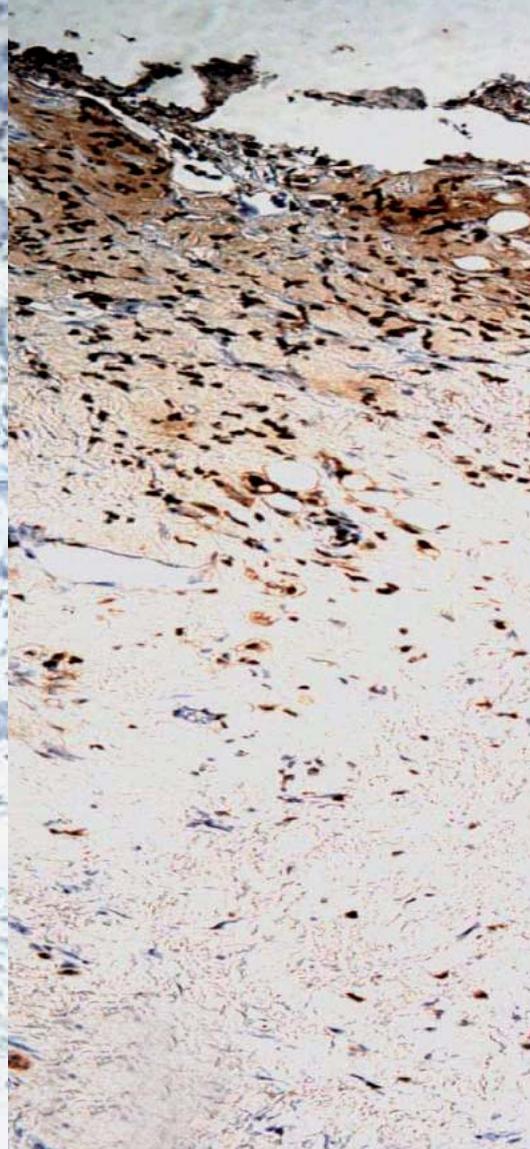
* Ration moyenne par individu et par jour.

Hervé Bouilly/IRSN - Source: IRSN



100 μ m

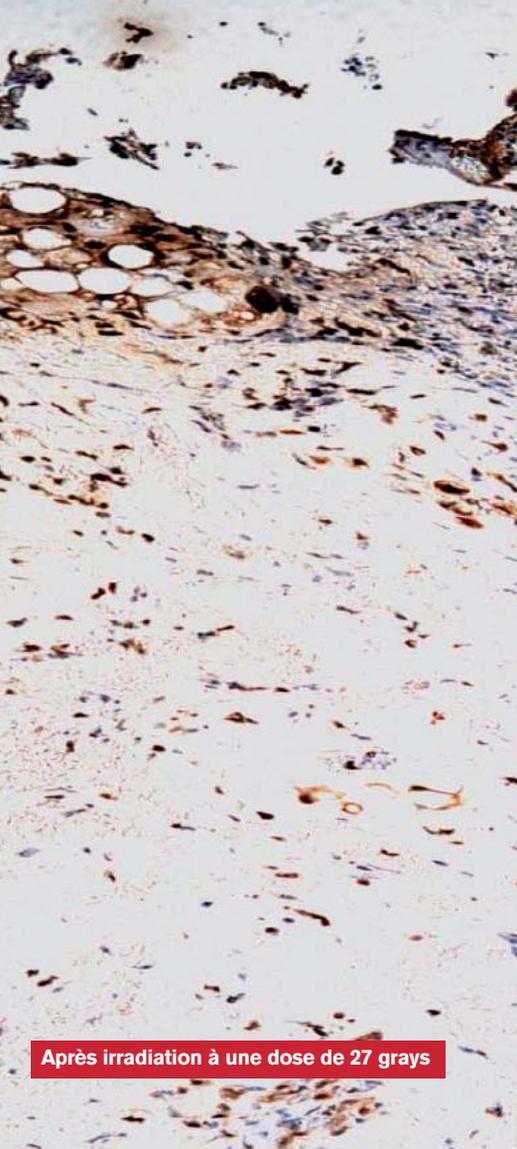
Muqueuse rectale chez un porc témoin



Ces coupes histologiques montrent que trois injections de cellules souches mésenchymateuses (CSM) ont permis la restauration de l'architecture de la

Mieux protéger le en radiothér

Largement utilisée dans le traitement contre les cancers, la radiothérapie consiste à éradiquer la tumeur en l'irradiant. Si son efficacité est reconnue, elle peut entraîner, à plus ou moins long terme, des complications pour le patient. L'IRSN s'efforce de mieux cerner l'apparition et l'évolution de ces séquelles. Ses recherches visent aussi à améliorer l'évaluation de la dose reçue à proximité de la région traitée, en particulier quand les faisceaux de rayonnement sont proches du cœur. Panorama des avancées scientifiques.



Après irradiation à une dose de 27 grays



Après trois injections de cellules souches mésenchymateuses (CSM)

muqueuse rectale du porc irradié, comparable à celle du porc témoin (cf. bibliographie p. 16).

Source IRSN

patient apipie

La radiothérapie concerne chaque année 180 000 personnes¹ en France. Son efficacité est unanimement reconnue : elle participe à environ 50 % des guérisons. Le développement de techniques plus pointues suscite des espoirs pour guérir mieux, et plus de malades. Il est donc important de maîtriser la quantité de radiations qui leur est fournie.

“Délivrer une dose suffisante de rayons pour éradiquer la tumeur tout en épargnant au maximum les tissus sains : toute la problématique de la radiothérapie tient là.” La situation est clairement résumée par Bernard Aubert, expert en radioprotection médicale à l’IRSN. Si la radiothérapie tient aujourd’hui une place fondamentale dans le traitement du cancer, dans 5 à 10 % des cas, les patients traités par cette méthode souffrent de complications, parfois graves. Le taux et le degré de sévérité de ces séquelles peuvent être plus élevés quand des erreurs se glissent dans le protocole de traitement, comme l’ont rappelé les accidents à Épinal (Vosges) et à Toulouse (Haute-Garonne).

Étaler et fractionner la dose

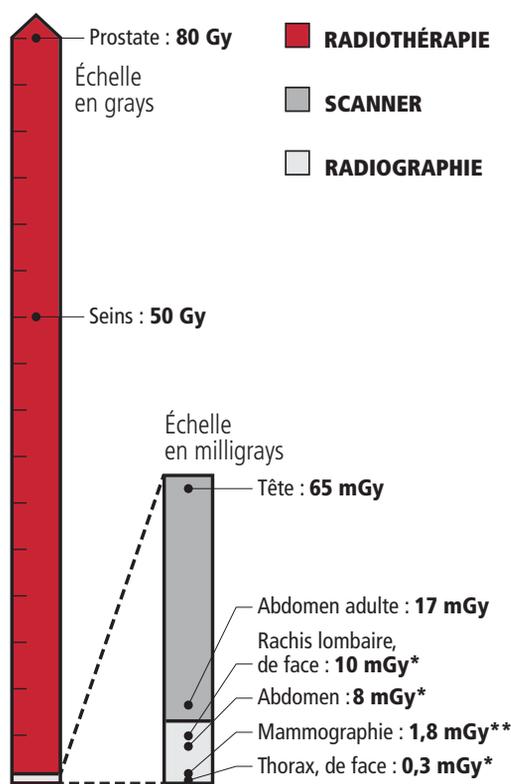
Pour répondre au double objectif de l’efficacité du traitement et de la radioprotection du patient, un plan de traitement est élaboré. Il est fondé sur un étalement et un fractionnement de la dose pour permettre aux tissus sains de se régénérer entre chaque séance (ils le font plus vite que ceux de la tumeur). *“Le radiothérapeute justifie l’acte après avoir mis en balance les bénéfices et les risques pour le malade. Il prescrit la dose ●●●*

●●● à délivrer, en quantité totale et par séance, et définit le volume cible². Le physicien médical aborde ensuite l'aspect technologique pour calculer comment apporter la dose prescrite à la tumeur en irradiant le moins possible les tissus environnants, et notamment les organes à risque. Il établit par exemple le nombre de faisceaux ou leurs caractéristiques – orientation, énergie, taille des champs... –, avec l'aval du radiothérapeute. Il effectue des calculs prévisionnels pour simuler ce qui va se passer pendant le traitement.

Suivant la complexité de la technique, il valide ces calculs par des mesures au niveau de l'appareil", détaille Pascal François, physicien médical à l'Institut Curie.

Une fois le plan de traitement défini et validé, toutes les informations sont transmises à la salle de radiothérapie, où le manipulateur règle l'appareil et prend le malade en charge. La radioprotection prend alors une forme différente : il ne s'agit plus de planifier au plus juste le processus, mais de vérifier que l'acte réalisé correspond à celui qui a été prescrit.

Radiothérapie, radiologie : quelle dose ?



* Dose à la peau. ** Dose moyenne à la glande.

Radiothérapie : ordre de grandeur des doses délivrées dans les traitements classiques.

Scanner, radiographie : doses tirées du rapport IRSN "Analyse des données relatives à la mise à jour des niveaux de référence diagnostiques en radiologie et en médecine nucléaire - Bilan 2007-2008" (2010).

Hené Bouilly/IRSN - Source IRSN

Des modèles individualisés

Une autre approche, pour un meilleur suivi de la personne soignée, consiste à connaître le plus précisément possible la dose délivrée aux tissus sains, notamment au niveau des organes à risque. Des contrôles sont réalisés par l'équipe de physique médicale lors du traitement, reposant sur cette évaluation de la quantité reçue. "Aujourd'hui, on ne sait pas mesurer précisément cette dose, souligne Bernard Aubert. Elle est calculée à partir de modèles, que l'on tente d'individualiser au mieux pour s'approcher au plus près de la réalité."

La course aux nouvelles technologies, plus complexes, ne facilite pas la tâche. À chaque fois, il faut définir de nouveaux repères. "Il est important de développer des outils et des méthodologies pour accompagner les nouveaux protocoles", insiste l'expert.

Les recherches menées visent à mieux connaître la dose reçue par le malade et à comprendre les complications. Un enjeu majeur quand on sait que les patients survivent plus longtemps à leur cancer : les conséquences radiologiques à dix ans sont maintenant une problématique de premier plan. ■

1. C'est une moyenne. Par exemple, 174000 patients ont reçu un traitement de radiothérapie en 2010 (source: Inca).
2. Volume de la tumeur évalué d'après la palpation et l'imagerie, auquel une marge de sécurité est ajoutée en vue du traitement.

Prédire l'app complication

Recherche. Il n'existe pas encore chez les patients traités par radioth

En moyenne, 5 à 10 % des personnes traitées par radiothérapie souffrent d'effets secondaires tardifs (à cinq ans) dans la zone irradiée. Aujourd'hui, on sait quels sont ces effets. On connaît mal, en revanche, les mécanismes en jeu. L'Institut, aux côtés d'autres établissements de recherche, s'est attelé à améliorer les connaissances dans ce domaine. Il s'agit de proposer des outils permettant de prévoir, de manière individualisée, la survenue et l'évolution des séquelles et de proposer de nouveaux traitements pour guérir ces lésions radio-induites.

Mettre en lumière les mécanismes en jeu

En 2010, l'Institut a lancé, en collaboration avec d'autres organismes¹, le programme de recherche expérimentale Rosiris². "L'objectif est d'arriver à prédire l'apparition et l'évolution des séquelles, et d'identifier de nouvelles cibles thérapeutiques³", rapporte Marc Benderitter, radiopathologiste à l'IRSN et porteur du projet. Plusieurs laboratoires⁴ de l'Institut sont impliqués, qui mêlent à la fois physique et biologie. "Des corrélations entre les dépôts d'énergie délivrée durant la radiothérapie et les mécanismes biologiques sont mises en évidence." Ces connaissances permettront d'améliorer les modèles prédictifs existants, qui pourront évaluer le risque de complications. "Les modèles seront paramétrables pour prendre notamment en compte, à l'aide de biomarqueurs, les caractéristiques individuelles de chaque patient irradié et ainsi mieux estimer leur risque", confie le chercheur. Les connaissances acquises dans ce programme ont permis également de proposer des traitements innovants. Pour l'heure, ce travail porte ses fruits : certains patients de l'accident d'Épinal (Vosges) ont pu bénéficier, à titre "compassionnel", d'un traitement par thérapie cellulaire, un autre programme de recherche impor-

La question de la juste dose

L'oncologue radiothérapeute raisonne et décide en fonction de deux notions de dose qui visent à obtenir un bon rapport bénéfice-risque. La dose de contrôle tumoral (nécessaire pour obtenir dans 90 % des cas la stérilisation locale définitive de la tumeur) et celle de tolérance des organes à risque ou tissus sains

(permettant de réduire à 5 % le risque de survenue d'une complication à cinq ans). Pour le cancer du sein, la dose de contrôle tumoral est généralement de 50 grays* (Gy), délivrée par séances de 2 Gy. Le principal organe à risque est le cœur dont la dose de tolérance est évaluée à 35 Gy.

* Le gray (Gy) mesure la quantité d'énergie absorbée par la matière, ou dose absorbée. 1 Gy = 1 joule par kilogramme de matière irradiée.

Apparition et l'évolution des outils pour mieux les traiter

d'outils pour prédire l'incidence et la gravité des séquelles de la radiothérapie. Deux programmes visent à pallier ce manque.

le protocole de surveillance Epopa. La première cohorte, dite Épinal 1, rassemble 24 personnes traitées pour un cancer de la prostate et ayant reçu une surdose d'environ 28 % à cause d'une erreur de manipulation du logiciel calculant la dose délivrée lors de la radiothérapie. La seconde cohorte, dite Épinal 2, en compte plus de 400. Elles sont soignées pour le même type de cancer, accidentées par un surdosage d'environ 10 % supérieur à la prescription. Cet excès est lié à une mauvaise estimation de la dose délivrée par des contrôles radiologiques effectués avec l'appareil de radiothérapie.

Identifier des marqueurs diagnostiques et pronostiques

"Du sang a été prélevé à chaque patient pour constituer une sérothèque⁶. Nous étudions cette base de données unique au monde pour tenter d'identifier des marqueurs génétiques ou protéiques. Les études biostatistiques sont en cours", rapporte Marc Benderitter. Les premiers résultats sont attendus pour fin 2012. "À terme, on espère proposer aux radiothérapeutes un dosage de protéines en routine. Cela aiderait à prédire l'apparition et la sévérité des complications", espère le radiopathologiste. ■

1. Centre national de la recherche scientifique (CNRS), École supérieure de physique et de chimie industrielles (ESPCI), université d'Évry.
2. Radiobiologie des systèmes intégrés pour l'optimisation des traitements utilisant des rayonnements ionisants et évaluation du risque associé.
3. Protéines dont l'activité peut être modulée pour provoquer une activité thérapeutique.
4. Radiopathologie et thérapies expérimentales; dosimétrie biologique; dosimétrie des rayonnements ionisants; métrologie et dosimétrie des neutrons.
5. Épinal Patients Overexposed for a Prostate Adenocarcinoma, un protocole de surveillance de la cohorte des patients surexposés au cours d'une radiothérapie de conformation pour un adénocarcinome de la prostate au centre hospitalier Jean-Monnet d'Épinal.
6. Dispositif de stockage en congélation de sérums et d'échantillons d'ADN.



Olivier Seignette/Mikael Lafontan/IRSN

tant, et prometteur, à l'IRSN. L'injection de cellules souches est étudiée pour pallier le vide thérapeutique face aux fibroses radio-induites. Les résultats les plus récents montrent une bonne efficacité des injections multiples chez l'animal. Ces conclusions sont confirmées sur des porcs irradiés localement dans une configuration proche des irradiations thérapeutiques (cf. photos p.10-11).

Des complications très variables

L'Institut est impliqué dans le protocole de surveillance de la cohorte Epopa⁵, lancé en 2008 avec l'Assistance publique-Hôpitaux de Paris. Il vise, à partir d'une étude clinique des personnes surexposées d'Épinal, à mettre en place des outils de diagnostic et de pronostic des complications. "Quand les premiers cas de surirradiation ont été découverts, en 2006 au centre hospitalier Jean-Monnet, à Épinal, l'urgence a d'abord été d'identifier les patients concernés. Un suivi médical a été mis en place pour chacun d'eux, se souvient le Pr Jean-Marc Simon, radiothérapeute à la Pitié-Salpêtrière (Paris), détaché à Épinal

pour l'organisation de cette surveillance. L'IRSN a participé en reconstituant les doses reçues. Une chose nous a étonnés : pour un même surdosage, les complications étaient très variables d'un malade à l'autre. De ce constat est née l'idée du programme Epopa, pour étudier précisément ces variabilités entre individus."

À l'époque, seules deux cohortes avaient été identifiées (on en compte cinq aujourd'hui). C'est sur les deux premières que porte



Jean-Pierre Copitet/IRSN

Pr Jean-Marc Simon, radiothérapeute à la Pitié-Salpêtrière (Paris).

Une culture de la sécurité sans cesse renforcée

"L'inflation réglementaire n'est pas toujours facile à appliquer sur le terrain, note Sylvie Thellier, spécialiste de la gestion des risques en milieu médical à l'IRSN et auteure du rapport 'Les professionnels de la radiothérapie face à l'obligation d'améliorer la sécurité des traitements'. Malgré des statuts et des cultures de sûreté différents, des dynamiques collectives se mettent en place dans les centres français de radiothérapie. Le physicien médical n'est plus seul face aux responsabilités de sécurité." Pour pérenniser ce processus, plusieurs pistes sont proposées, notamment approfondir la réflexion sur le rôle des acteurs intermédiaires, comme les sociétés savantes ou les organisations professionnelles. Leur travail de veille réglementaire et de traduction des exigences est jugé positif pour favoriser l'appropriation de la réglementation par les professionnels.

L'optimisation des traitements pa

Dosimétrie. Améliorer la radioprotection du patient en radiothérapie requiert de connaître Deux voies sont à l'étude : la dosimétrie des minifaisceaux en condition stéréotaxique et l'a

La dose délivrée au patient lors d'une séance de radiothérapie et sa répartition dans les tissus (tumoraux et sains) sont évaluées grâce à des logiciels de calcul. Pour évaluer au mieux la dose, une des pistes d'étude de l'IRSN est de perfectionner les données utilisées dans les logiciels, en intégrant des caractéristiques mieux définies des rayonnements utilisés pour les traitements et des représentations anatomiques plus précises des patients. C'est le sens des recherches menées sur la dosimétrie des minifaisceaux utilisés en radiothérapie stéréotaxique et sur la dose reçue au cœur lors des traitements de tumeurs dans la région thoracique (cancer du sein gauche notamment). Ces recherches aideront à optimiser davantage les traitements par une meilleure maîtrise des doses délivrées.

Toutes ces avancées poursuivent le même objectif : contribuer à

améliorer la radioprotection du malade en radiothérapie. Évaluer avec précision la dose reçue au niveau de la tumeur et des organes à risque permet d'optimiser le plan de traitement, puis d'améliorer le suivi.

Identifier et corriger les sources d'incertitude

Entre la prescription par le radiothérapeute et les radiations reçues par le patient, plusieurs sources d'incertitude peuvent s'immiscer : mauvaise acquisition des données, positionnement du corps différent de ce qui avait été défini... Évaluer précisément la dose reçue permet alors de valider qu'il n'y a pas d'erreur dans le protocole. Un écart trop grand avec la prescription en serait le signe. Il faudrait alors identifier et corriger la source. Ces données sont également importantes pour évaluer la qualité globale d'une technique ou d'un service. ■

Vers un protocole

L'IRSN a lancé un programme de recherche en 2009 pour établir un protocole d'étalonnage des faisceaux de photons de petites dimensions utilisés en radiothérapie, appelés minifaisceaux. Le champ¹ réduit (< 10 mm) de ces minifaisceaux les rend particulièrement aptes au traitement des petites tumeurs et des tumeurs de forme irrégulière, situées à proximité de structures radiosensibles ou difficiles d'accès pour la chirurgie, comme le cerveau, la moelle épinière ou les poumons. Mais la principale limite de cette technique est l'incertitude sur la dose réellement délivrée. Les détecteurs actuels utilisés pour l'étalonnage des faisceaux ne permettent pas d'obtenir des résultats fiables pour des champs aussi petits.

"Plus les dimensions du champ diminuent, plus l'incertitude augmente. Quand nous travaillons avec un champ de 6 mm de diamètre, nous estimons l'incertitude à 4-5 %, contre 1 à 1,5 % pour un faisceau de 10 mm", illustre le Dr Albert Lisbona, chef du service de physique médicale à l'Institut de cancérologie de l'Ouest à Nantes (Loire-Atlantique).

L'accident survenu en 2007 à l'hôpital de Rangueil du CHU de Toulouse (Haute-Garonne) a conduit à la surexposition de 145 patients traités par minifaisceaux. Il a pointé le problème d'étalonnage des appareils de radiothérapie sur des champs de cette taille. *"Aujourd'hui, il n'existe pas au sens strict de protocole de référence, ni de recommandations nationales ou internationales pour la mesure de ces conditions",* regrette le Dr Lisbona.

L'IRSN a réalisé des campagnes de mesures entre 2010 et 2012, dans les services de radiothérapie de trois centres hospitaliers parte-



Laurent Zilberman/Graphix-Images/IRSN

En radiothérapie stéréotaxique, pour reproduire précisément la position de traitement et maintenir le patient immobile, il faut réaliser un masque facial thermoformé personnalisé.

Précision par une maîtrise des doses

avec précision la dose reçue, au niveau de la tumeur et des organes à risque. L'adaptation de la dose à l'anatomie du patient quand on intervient dans la région thoracique.

d'étalonnage des minifaisceaux

naïves : l'Institut de cancérologie de l'Ouest, le Centre Oscar-Lambret à Lille (Nord) et la Pitié-Salpêtrière, à Paris. "Nous avons testé sept détecteurs du marché – quatre diodes, deux chambres d'ionisation, un détecteur diamant – ainsi que deux dosimètres passifs utilisés à l'Institut. Nous avons mesuré, avec ces différents détecteurs, le facteur d'ouverture du collimateur (FOC), paramètre critique pour l'étalonnage des appareils délivrant des minifaisceaux. Résultat : il existe une grande variation entre les valeurs mesurées par les détecteurs du marché [jusqu'à 15 à 20%]. Les dosimètres passifs ont en revanche montré des résultats intéressants, comparables entre eux et proches du FOC théorique déterminé par modélisation, avec une incertitude inférieure à 2%", révèle Christelle Huet, chercheuse en dosimétrie externe à l'IRSN. "Le dosimètre passif a un inconvénient. Il ne donne pas le résultat tout de suite et le protocole de ce fait ne peut pas être réalisé en routine", précise le Dr Lisbona.

L'Institut va proposer aux hôpitaux de mesurer le FOC des appareils de radiothérapie délivrant des minifaisceaux, afin d'effectuer un étalonnage plus précis. "L'étape suivante pourrait être l'établissement de facteurs de correction pour les détecteurs du marché", envisage Christelle Huet.

Développer un dosimètre fiable

L'autre axe de recherche est de développer un outil dosimétrique fiable et facilement utilisable dans les services de radiothérapie, puisque les détecteurs actuels ne donnent pas entière satisfaction. "Le CEA s'est rapproché de l'IRSN pour participer au programme Diadomi³, lancé en 2011 pour trois ans. Il vise à développer un dosimètre



Des expertes en dosimétrie et en radiophysique travaillent avec des services de radiothérapie. Ici à la Pitié-Salpêtrière (Paris).

Laurent Zylberman/Graphix-Images/IRSN

Étudier les neutrons secondaires en protonthérapie

Modéliser les neutrons secondaires en protonthérapie pour mieux évaluer le risque lié à cette dose additionnelle : tel est l'objectif visé par deux travaux de thèse¹ réalisés à l'IRSN. Comme son nom l'indique, cette technique de radiothérapie recourt aux protons au lieu des photons ou électrons généralement utilisés. Elle se développe pour certains types de tumeurs superficielles, comme les cancers ophtalmiques ou les tumeurs du cerveau. "Là où l'énergie déposée par les photons s'atténue progressivement dans la matière, les protons déposent l'énergie de façon brutale et localisée, jusqu'à quelques centimètres de profondeur", explique Isabelle Clairand, chercheuse et responsable du laboratoire de dosimétrie des rayonnements ionisants de l'IRSN. Mais cette méthode présente un inconvénient spécifique : des neutrons secondaires sont créés, principalement dans la tête de l'accélérateur, et viennent se déposer dans le corps du patient de manière diffuse. "Aujourd'hui, cette dose additionnelle n'est pas prise en compte, tout simplement parce qu'on ne sait pas exactement quelle quantité ni quelle énergie sont déposées", souligne Isabelle Clairand. Les travaux en cours devraient contribuer à pallier cette déficience.

1. Première thèse soutenue en 2009 par Florent Martinetti ; deuxième thèse en cours, par Rima Sayah (cf. bibliographie p.16).

diamant de très petites dimensions, spécifiquement adapté aux minifaisceaux", rapporte Isabelle Clairand, chercheuse et responsable du laboratoire de dosimétrie des rayonnements ionisants de l'Institut. Le CEA met au point des prototypes, testés de proche en proche au sein des quatre centres hospitaliers partenaires⁴ en comparant leurs résultats aux données de modélisation des installations, ainsi qu'aux résul-

tats de mesure obtenus avec les dosimètres passifs de l'IRSN, qui servent de références. ■

1. Diamètre ou taille du faisceau.
2. Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.
3. Diamant pour la mesure de la dose absorbée dans les minifaisceaux.
4. AP-HP La Pitié-Salpêtrière (Paris); Centre Léon-Bérard, centre régional de lutte contre le cancer de Lyon (Rhône); Centre Alexis-Vautrin, centre de lutte contre le cancer de Lorraine, à Nancy (Meurthe-et-Moselle); Institut de cancérologie de l'Ouest, centre de lutte contre le cancer Nantes-Atlantique, à Saint-Herblain (Loire-Atlantique).

Une dose adaptée à l'anatomie du patient prévient le risque cardiovasculaire

Lorsque la tumeur se trouve dans la région thoracique – cancer du sein par exemple –, il existe un risque de complication cardiaque à la suite d'une radiothérapie. Proche du volume cible, le cœur est en première ligne pour recevoir lui aussi des rayons. Pour aider le praticien à optimiser le traitement, l'Institut développe des outils qui prennent mieux en compte les spécificités de chaque patient. C'est le travail mené par Alexandra Moignier, physicienne médicale de formation et doctorante à l'IRSN.

“D'un individu à l'autre, le cœur est plus ou moins gros, placé plus ou moins haut dans le thorax, avec une arborescence de coronaires différente. Son travail de thèse consiste à développer des outils de modélisation numérique permettant de prendre en compte l'anatomie individuelle dans les logiciels de calcul de dose en fonction des données anatomiques du patient. Cette approche personnalisée peut dès lors remplacer l'approche standardisée utilisée jusqu'alors dans les études rétrospectives, pour une plus grande précision”, développe Sylvie Derreumaux, spécialiste de la radioprotection en milieu médical à l'IRSN.

Point critique : les artères coronaires

L'étape suivante consiste à personnaliser la représentation du cœur. *“Toutes les parties du cœur n'ont pas la même sensibilité aux rayonnements”,* explique-t-elle. Le point critique semble identifié : il s'agit des artères coronaires qui tapissent et irriguent le muscle. *“À la suite d'une irradiation, elles peuvent se sténoser¹, entraînant un risque d'infarctus du myocarde²”,* poursuit la spécialiste. Il peut exister un facteur 5, voire plus, entre la dose moyenne au cœur, aujourd'hui prise en compte lors de la prescription du traitement, et celle reçue aux coronaires.

“Les imageries scanographiques du cœur utilisées pour la planification des irradiations ne sont pas assez nettes pour bien visualiser les artères coronaires, en raison du flou occasionné par les battements. L'oncologue radiothérapeute se focalise sur la pénétration des faisceaux dans le muscle cardiaque, qui ne doit pas dépasser 1 cm. Pour les cancers du sein gauche, il essaie de repérer l'artère intraventriculaire, la plus proche du volume cible”, témoigne le Pr Jean-Jacques Mazon, chef du service de radiothérapie de la Pitié-Salpêtrière (Paris). Disposer de modèles évaluant précisément la dose reçue dans la région du cœur, et surtout au niveau des artères coronaires, est un enjeu important. ■

1. Le diamètre des artères rétrécit, ce qui freine le flux sanguin.
2. Nécrose d'une partie du cœur à la suite d'une diminution de l'apport en sang, et donc en oxygène.

“Éviter les complications à long terme, un enjeu chez les jeunes patients”

Alexandra Moignier, physicienne médicale, doctorante à l'IRSN



Laurent Zylberman/Graphix-Images/IRSN

“Quand le cancer touche une personne jeune, prévenir les effets secondaires de la radiothérapie, même à long terme, est d'autant plus essentiel. En plus des cancers du sein, qui peuvent être diagnostiqués précocement chez des femmes jeunes, la maladie de Hodgkin¹, qui touche essentiellement des enfants, adolescents ou jeunes adultes, fait courir les mêmes risques cardiovasculaires à la suite d'une radiothérapie. Une convention de recherche vient d'être signée entre l'IRSN et l'Institut Gustave-Roussy [Val-de-Marne] pour étudier les cas des patients atteints de cette maladie du système lymphatique. Il s'agit de préciser, à terme, la relation entre la dose reçue aux coronaires et les complications cardiaques.”

1. Cancer des systèmes lymphatiques (moelle osseuse, rate, ganglions, thymus...).

BIBLIOGRAPHIE

- **Rapport** « Les professionnels de la radiothérapie face à l'obligation d'améliorer la sécurité des traitements » : www.irsn.fr/traitements-radiothérapie/.
- **Feuille de route** des mesures nationales pour la radiothérapie : www.sante.gouv.fr, rubrique Actualité/Presse > Les dossiers de presse > Mesures nationales pour la radiothérapie.
- **Guide des procédures de radiothérapie externe 2007** : www.sfro.org.
- **Critères d'agrément** pour la pratique de la radiothérapie externe : www.e-cancer.fr, rubrique Soins > Radiothérapie.
- **Thèses** Florent Martinetti, « Estimation des

doses dues aux neutrons secondaires reçues par les patients en protonthérapie : Cas des traitements ophtalmologiques » : www.irsn.fr/the-se-martinetti/.

- Rima Sayah, « Évaluation des doses dues aux neutrons secondaires reçus par des patients de différents âges traités par protonthérapie pour des tumeurs intracrâniennes » : www.irsn.fr/these-sayah/.

- **Publication** à paraître, C. Linard, E. Busson, V. Holler, C. Strup, J.-V. Lacave-Lapalun, B. Lhomme, M. Prat, P. Devauchelle, J.-C. Sabourin, J.-M. Simon, M. Bonneau, J.-J. Lataillade, M. Benderitter, « Repeated mesenchymal stem cell injections improve radiation-induced proctitis in pig ».

POUR EN SAVOIR PLUS

- **La radiothérapie** (dossier) et **Les accidents de radiothérapie** (dossier) : www.irsn.fr/radiothérapie/ et www.irsn.fr/accidents-radiothérapie/.
- **Programme Rosiris** et **Projet Diadomi** : www.irsn.fr/rosiris/ et www.irsn.fr/diadomi/.

CONTACTS IRSN

- **Pour dialoguer avec les experts de l'IRSN** : rmed@irsn.fr (unité d'expertise de radioprotection médicale) isabelle.clairand@irsn.fr

Délimiter une zone lors de tirs de gammagraphie industrielle

L'utilisation d'un gammagraphe en milieu industriel nécessite de baliser une zone autour de l'appareil. Son accès est interdit aux personnes non habilitées. Cette opération délicate, réglementée, requiert le respect d'une succession d'étapes. Les compétences s'acquièrent en formation.

- **TÉMOIGNAGE** Un responsable de contrôle non destructif • **DÉCRYPTAGE** Des précautions à chaque étape
- **POINT DE VUE D'EXPERT** Un spécialiste de la radioprotection à l'IRSN.

TÉMOIGNAGE

“ Le balisage peut se révéler complexe ”

Jean-François Mosnier est aujourd'hui responsable opérationnel de l'activité de contrôle non destructif pour l'Institut de soudure industrie, centre situé à Port-de-Bouc (Bouches-du-Rhône). Il a été PCR (personne compétente en radioprotection) pendant plus de trois ans.

Le balisage est un élément essentiel de radioprotection en gammagraphie industrielle. Il permet de matérialiser, de manière visible et continue, l'interdiction d'accès à la zone d'opération où l'exposition aux rayonnements ionisants est jugée dangereuse. Cette activité peut, de prime abord, sembler simple : ne suffit-il pas de poser de la rubalise¹, des panneaux trisecteurs et un signal lumineux à une certaine distance

autour de la source, afin de ne pas dépasser le seuil réglementaire de 2,5 $\mu\text{Sv}/\text{h}^2$ en limite de zone? C'est parfois le cas, notamment quand il s'agit de vérifier des soudures de canalisation en zone inhabitée. Mais ce n'est plus vrai quand les tirs doivent être effectués au sein d'un complexe industriel. Nous privilégions alors le travail de nuit, ou en soirée, pour déjà limiter les risques liés à la coactivité. Mais quand bien même : selon la configuration de l'espace à confiner, le balisage peut se révéler complexe. Il faut être sûr d'avoir identifié toutes les zones d'accès possibles (portes, escaliers...). On doit aussi prendre en compte le rayonnement dans ses trois dimensions, et pas seulement sur le plan horizontal. Cela peut amener à baliser aussi l'étage supérieur ou inférieur. Il faut également savoir s'il y aura ou non d'autres travailleurs en activité à proximité; anticiper toutes les contraintes potentielles, par exemple un éclairage spécifique parce que l'équipe intervient de nuit...

Une réflexion à mener en amont

La solution pour mener à bien le balisage? Y réfléchir bien en amont, en travaillant d'abord sur plan, puis en validant le zonage retenu par une visite *in situ*. Ce travail doit être effectué conjointement par les différentes parties prenantes. Il s'agit des donneurs d'ordre, de l'entreprise de maintenance industrielle et de la personne compétente en radioprotection (PCR) de l'entreprise de radiographie industrielle.” ■ ●●●

1. Ruban textile ou plastique servant à délimiter une zone.
2. Le sievert (Sv) est l'unité qui sert à quantifier le risque lié à une exposition à des rayonnements ionisants. Un microsievvert par heure (1 $\mu\text{Sv}/\text{h}$) correspond à un débit de dose de 0,000001 Sv par heure.



Nedim Imré/IRSN

DÉCRYPTAGE

Des précautions à chaque étape

En amont des tirs de gammagraphie sur chantier et le jour J, une zone d'opéra-
travail de mise en place et de vérification. Feuille de route pour prévenir les ris

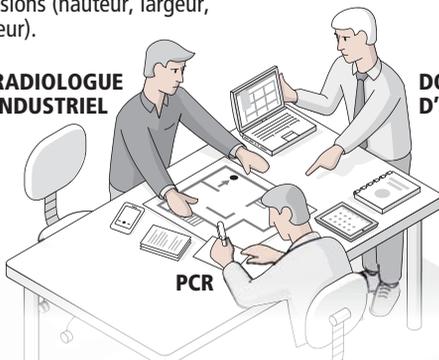
AVANT

Calculer la distance de balisage en fonction des caractéristiques de la source et des protections collectives qui seront mises en place (collimateur...). Ne pas oublier que cette distance est à respecter dans les trois dimensions (hauteur, largeur, longueur).

Anticiper toutes les contraintes présentes le jour de l'intervention : accessibilité de la pièce, possibilité de coactivité, spécificités liées à la plage horaire d'intervention, etc.

RADIOLOGUE INDUSTRIEL

DONNEUR D'ORDRE



PCR

Dessiner un plan de balisage fiable et facile à lire par l'opérateur le jour J (non surchargé, avec les informations pertinentes). L'insertion de photos en annexe peut être une bonne idée.

La numérotation des balises et la planification séquentielle de la pose et de la dépose peuvent être utiles quand il y a beaucoup de balises à poser.

Anticiper les incidents ou accidents et définir à chaque fois la marche à suivre. Par exemple : s'éloigner si la source est bloquée dans la gaine d'éjection et contacter immédiatement la PCR ; le protocole de gestion de situation d'urgence à mettre en place si une personne traverse le balisage.

Effectuer une visite in situ pour vérifier que le balisage prévu est adapté, et l'ajuster le cas échéant.

LE JOUR J

1. Vérifier l'état de fonctionnement et l'étanchéité du matériel

(gammagraphe, radiamètre, dosimètres) avant de se rendre sur le site.

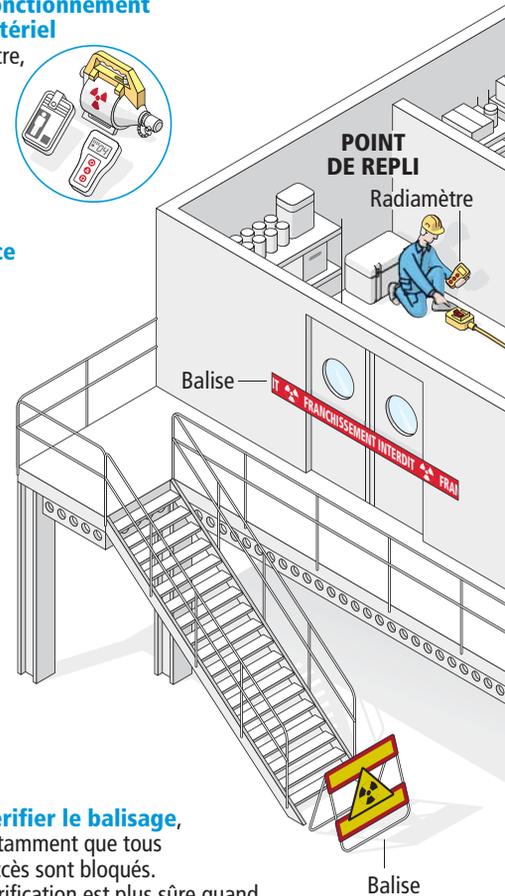


2. Signaler sa présence à l'accueil et l'objet de l'intervention, dès l'arrivée sur le site.



3. Mettre en place le balisage

autour du gammagraphe et, si besoin est, aux étages supérieurs et/ou inférieurs.



4. Vérifier le balisage,

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

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

Réglementation

L'arrêté du 15 mai 2006, relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, fixe les règles :

- Dans le cas de l'utilisation d'un gammagraphe mobile (sur chantiers « extérieurs »), le responsable de l'appareil doit **délimiter une zone d'opération**. À la périphérie de celle-ci, le débit d'équivalent de dose moyen, évalué sur la durée de l'opération, doit rester inférieur à 2,5 µSv/h.
- Lorsque le gammagraphe est mis en œuvre à l'intérieur d'une zone surveillée ou contrôlée, la délimitation de la zone

d'opération **prend en compte les débits de dose inhérents à l'appareil** ainsi que ceux déjà existants dans ces zones. La délimitation de la zone d'opération est alors établie suivant les valeurs d'exposition aux rayonnements ionisants fixées par les articles 5 et 7 de l'arrêté du 15 mai 2006 pour définir les zones contrôlées et surveillées.

- La délimitation de cette zone prend en compte, notamment, **les caractéristiques de l'appareil émetteur de rayonnements ionisants, les conditions de sa mise en œuvre, l'environnement** dans lequel il doit être utilisé et, le cas échéant, les dispositifs visant à réduire l'émission de rayonnements ionisants.

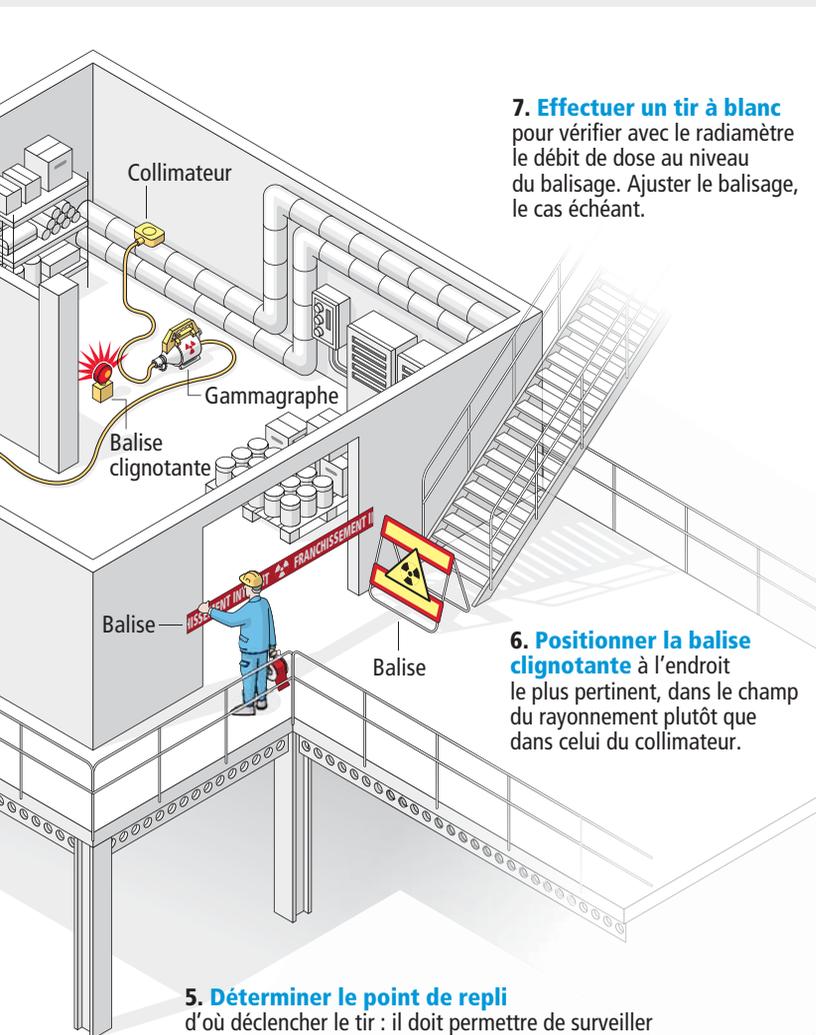
En chiffres

- **20 mSv en deux minutes :** c'est l'exposition que pourrait subir une personne placée par incident à un mètre de certaines sources utilisées en gammagraphie comme l'iridium 192.

Glossaire

La **gammagraphie industrielle** (ou radiologie industrielle) est une technique de contrôle non destructif réalisée à l'aide d'une source radioactive émettrice de rayonnement gamma. Utilisée dans de nombreux secteurs de l'industrie (chaudronnerie industrielle,

tion doit être balisée. C'est le fruit d'un important travail de réflexion et de réponse aux règles de radioprotection.



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

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

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

Henri Bouilly/IRSN - Source : IRSN

pétrochimie, nucléaire, ouvrages d'art...), elle permet notamment de contrôler la qualité des soudures ou de mettre en évidence des faiblesses sur des pièces métalliques.

Un **tir de gammagraphie** est une opération qui consiste à exposer une pièce métallique aux rayonnements gamma d'une source radioactive en vue d'en faire une radiographie.

■ Pour aller plus loin

Camari : www.irsn.fr/camari/

■ Contact

Bertrand Le Dirac'h
Tél. : 01 58 35 89 22
bertrand.le-dirac'h@irsn.fr

Jean-Pierre Vidal
Tél. : 01 58 35 94 02
jean-pierre.vidal@irsn.fr

Unité d'expertise des sources
Fax : 01 58 35 95 36

POINT DE VUE D'EXPERT

“ La vigilance, premier gage de sécurité ”

Jean-Pierre Vidal, expert en radioprotection à l'IRSN.

“ **N**e pas laisser la routine s'installer, mais faire en sorte que la réflexion prenne toujours le pas sur les habitudes.”

Jean-Pierre Vidal insiste sur ce message auprès des radiologues industriels. Chargé de l'organisation du certificat d'aptitude à manipuler les appareils de radiologie industrielle (Camari) jusqu'en mars 2012, il rapporte que la baisse de vigilance peut être une source d'incident lors des tirs de gammagraphie. C'est particulièrement vrai quand ils sont programmés de nuit, alors que la fatigue guette. “Et le balisage est un travail redondant, sensible aux erreurs d'inattention”, reconnaît le spécialiste. La formation au Camari est donc importante. Parmi les nombreux points abordés pour assurer la radioprotection des travailleurs, elle rappelle les modalités du zonage en gammagraphie industrielle. Des chartes de bonnes pratiques existent également, élaborées en région (PACA, Rhône-Alpes, Nord, Pays de la Loire...) par les acteurs de la prévention des risques (industriels, services de l'État, acteurs de la santé au travail...). ■



Jean-Pierre Copitet/IRSN



Reportage photo : Frédérique Hughes/IRSN

À la suite de Fukushima, expert et sociologue s'interrogent sur les nouvelles exigences de la société civile.

À RETENIR

- **Analyser** les sujets qui préoccupent les instances et les médias permet d'obtenir une mesure des principales inquiétudes des acteurs sociaux.
- **La gestion des risques** nucléaires sera d'autant plus efficace que la société civile exercera sa capacité à interpeller les experts.
- **Fukushima** a fait prendre conscience qu'il faut désormais être préparé au pire.

Comment répondre des Français face au

Les attentes du grand public en matière d'information sur le nu
Un sociologue et le directeur de la stratégie de l'Institut parta

Repères : Comment identifier au mieux les grandes préoccupations des Français ?

Matthieu Schuler : Le principal outil de l'IRSN est son *Baromètre*. Ce sondage annuel consacré à la perception des risques et de la sécurité nous donne une mesure la plus rigoureuse possible des inquiétudes que peut avoir la population française dans de multiples domaines : économie, environnement, société... Une attention particulière est portée aux risques technologiques et plus spécifiquement nucléaires.

Francis Chateauraynaud : En tant que sociologue, je privilégie les démarches plus dynamiques. Je construis des outils et des concepts permettant de

suivre les processus dans leur globalité, de leur constitution à leur disparition. Cela fournit un tableau assez large de la manière dont évoluent les prises de position sur une grande variété de dossiers. Cette approche fournit de puissants points de comparaison. Elle aide à identifier les préoccupations forgées par la société civile.

M.S. : Le *Baromètre IRSN* ne peut aller aussi loin, ni dans autant de directions, car il implique de conserver une certaine stabilité dans le temps. La liste des sujets ne change pas radicalement d'une année sur l'autre. Elle s'étoffe en fonction des grandes tendances que nous observons au fil de notre veille et des contacts avec les associatifs. Nous gagnerions sans doute à élargir ce cercle aux sociologues et à renforcer notre réflexion par des analyses sociologiques sur l'émergence ou la disparition des thématiques de la sphère des préoccupations publiques.

F.C. : Face à l'approche qui consiste à se focaliser sur les sujets qui préoccupent les instances et les médias, on peut chercher à rendre compte de la cristallisation des préoccupations des acteurs sociaux en saisissant les processus d'engagement ou de mobilisation. Aidé par une méthodologie informatique appliquée à de grands corpus, il est possible de faire remonter des configurations qui ne sont pas forcément visibles.

“ Parmi la masse d'information émise sur un sujet, les arguments importants finissent par trouver leur chemin dans les arènes publiques. Le processus prend du temps, mais les enjeux nucléaires s'inscrivent dans le temps long. ”

Francis Chateauraynaud

Directeur d'études à l'École des hautes études en sciences sociales (EHESS), il dirige le groupe de sociologie pragmatique et réflexive qu'il a fondé en 2003.

Comment mieux impliquer la société civile dans le débat sur le nucléaire ?

F.C. : Des solutions ont été testées, notamment les dispositifs de concertation et les débats publics. Mais dans des situations prises entre politisation d'un côté et cadrage technique des discussions de l'autre, il n'est pas facile de définir ce qu'est un bon débat public. Dans cet objectif, le groupement d'intérêt scientifique du CNRS "Démocratie et participation", qui

aux préoccupations risque nucléaire ?

cléaire font l'objet d'études. Pour les connaître et trouver la meilleure façon de les satisfaire. gent leurs expériences et leurs visions, entre théorie et pragmatisme.

regroupe des centaines de chercheurs, a pour vocation d'alimenter en continu la réflexion sur les modalités et les effets des différentes formes de participation des publics.

M.S. : Le dispositif de gestion des risques nucléaires sera d'autant plus efficace que la société civile exercera sa capacité à nous interpeller. C'est la conviction de l'Institut. À nous, experts, de nous adapter pour instaurer un débat en profondeur et au plus proche des citoyens, en fonction de leurs attentes. Les nouvelles technologies, et en particulier Internet, représentent à cet égard un outil à apprivoiser. La saturation de notre réseau au début de la crise de Fukushima a démontré le potentiel d'attention du grand public.

F.C. : De fait, le Web a accentué de façon inouïe la mise en circulation d'alertes, de discussions, d'expertises, de contre-expertises... C'est une source d'information aussi riche que complexe pour un organisme institutionnel...

L'accident de Fukushima peut-il servir à renforcer les liens entre le grand public et les experts ?

F.C. : Oui, dans la mesure où l'interprétation de l'événement fait émerger des publics nouveaux, qui contribuent à renouveler les questions et les enjeux sans reproduire à l'identique les figures critiques classiques. Si les objets et les publics peuvent se construire en commun, comme c'est le cas à la suite de Fukushima, les interactions sont renforcées. Une des vertus de l'IRSN est d'informer sur les émissions de radioactivité, sans être à leur source, contrairement aux exploitants.

M.S. : Notre principale interrogation : ces publics nouveaux conserveront-ils leur attention à moyen terme ? Nous ne pouvons le dire pour l'instant, car il se pose un problème de temporalité. Il faudra plusieurs années

pour tout analyser sur le plan technique et faire mener les actions concrètes par les exploitants, alors que les attentes de la société s'expriment au présent. Là encore, le *Baromètre* nous permettra de mesurer la "rémanence" du signal.

F.C. : Une chose est sûre, le relais – très visuel – de l'événement par Internet et dans les médias a permis de dépasser un "seuil" de préoccupation publique. Fukushima restera longtemps dans l'esprit d'un large public. Celui-ci va sans doute intégrer l'idée, déjà développée par les experts, qu'il faut désormais être préparé au pire et qu'il est indispensable d'œuvrer de concert à la configuration des dispositifs destinés à anticiper de futures catastrophes, qu'elles soient d'origine naturelle, industrielle ou terroriste.

M.S. : Ces dispositifs doivent de surcroît se coconstruire au-delà des frontières. Il y a suffisamment d'émotion et donc d'attention politique en Europe pour faire bouger les lignes. Et, quels que soient leurs choix, en matière de nucléaire, les pays et l'Union

européenne se sentent en devoir d'apporter le même degré de confiance à tous les citoyens européens. ■

 **Pour en savoir plus :**
www.irsn.fr, rubrique **L'IRSN**
> **Publications institutionnelles**
> **Baromètre IRSN**

“ S'adresser directement au grand public sur des thèmes le concernant permet de recueillir des attentes simples et ancrées dans le quotidien. Cela nécessite des réponses loin des explications technico-techniques que les experts fournissent parfois. ”

Matthieu Schuler

Directeur de la stratégie, du développement et des partenariats de l'IRSN depuis début 2011.

Après avoir travaillé à l'Autorité de sûreté nucléaire (à Dijon) puis à l'École des mines de Nantes, il est entré à l'Institut en 2009.



Des programmes scientifiques pour répondre à des questions

Sûreté et radioprotection. La connaissance étant moteur de progrès dans ses domaines de compétence, l'IRSN développe des programmes de recherche. Des partenariats européens, voire au-delà, lui permettent de dépasser ses capacités propres.



Le laboratoire d'expérimentation des feux situé à Cadarache (Bouches-du-Rhône) mène des recherches dont les données servent à développer et à valider des logiciels de calcul.

Noak/Le bar Floréal/IRSN

Expert public des risques nucléaires et radiologiques, l'IRSN veille à disposer des connaissances lui assurant de jouer pleinement son rôle. *“Si le retour d'expérience constitue un processus de réflexion très utile a posteriori, la recherche permet de nous tourner vers l'avenir et d'anti-*

ciper les questions afin d'y répondre de la manière la plus pertinente possible”, explique Matthieu Schuler, directeur de la stratégie de l'Institut. La position de l'IRSN, à l'intersection des domaines de l'expertise, de la science et de la société, lui permet d'identifier les besoins d'études, de recherches finali-

sées ou de travaux plus fondamentaux. Si la recherche de l'IRSN aborde de nombreux champs scientifiques pour répondre aux besoins en sûreté et en radioprotection, elle ne peut tous les traiter. Maintenir l'efficacité de la recherche avec les impératifs budgétaires et humains actuels impose de développer des complémentarités à la faveur de partenariats.

Plates-formes européennes

Les partenariats à l'échelle internationale constituent un enjeu majeur pour les années à venir. *“L'espace européen de la recherche se construit brique après brique. Nous sommes en train de passer d'une structuration souple à base de réseaux d'excellence regroupant les pairs [Doremi¹, Star², Sarnet³...], à de véritables plates-formes européennes [Nugenia⁴, Melodi⁵...], susceptibles, à partir des agendas stratégiques de recherche établis en commun, de mener des programmes coopératifs en mutualisant les ressources budgétaires”,* apprécie-t-il.

À l'échelon national, l'apport des acteurs académiques se situe prioritairement

Favoriser l'innovation par la recherche exploratoire

“La recherche exploratoire incite à la réflexion sur des sujets originaux et innovants, en s'affranchissant du cadre très structuré de la recherche appliquée”, s'exprime Giovanni Bruna, directeur scientifique de l'Institut. Le seul impératif de ces travaux à mener sur une courte période – deux ans maximum – est de conserver un lien avec les pratiques et les besoins d'expertise de l'IRSN. *“Ce type de recherche s'apparente à un travail en amont susceptible d'ouvrir de*

nouvelles voies de développement et de compléter à moyen terme nos outils d'expertise”, précise-t-il. On peut citer par exemple la modélisation d'un nouvel appareillage de mesure, à l'instar du fluxmètre thermique inverse¹, breveté en 2013. Des dispositifs déjà existants peuvent aussi être déclinés, comme les outils de dosimétrie adaptés à l'étude des effets biologiques d'une contamination interne (les aberrations chromosomiques

notamment). Ces expérimentations sont régulièrement menées en partenariat avec l'univers académique ou industriel, pourvoyeurs potentiels de ressources techniques et/ou matérielles. Les projets de recherche exploratoire développés à l'Institut seront dorénavant présentés lors de ses journées des thèses, *“afin de bénéficier d'un plus large public de spécialistes et de créer une synergie entre les chercheurs”.* ■

1. Voir article en page 4, rubrique Temps forts.

d'avenir

rement dans la réponse aux besoins en connaissances fondamentales, alors que des programmes multipartites menés entre organismes publics et industriels portent sur des enjeux partagés de sûreté.

Trois domaines de recherche confirmés par Fukushima

Malgré les progrès des connaissances et des technologies réalisés depuis trente ans, l'accident de Fukushima a montré que les réacteurs nucléaires restaient vulnérables aux agressions extérieures. Cette catastrophe a confirmé trois domaines de recherche prioritaire pour l'Institut, en sûreté nucléaire : la sensibilité des installations aux risques et leur prévention, les conséquences radiologiques d'un éventuel accident et les moyens de gestion d'une situation de crise, y compris en situation très dégradée. Le programme de recherche Phébus PF⁶ en est l'illustration. Il a fait progresser la connaissance des phénomènes pouvant conduire à un accident majeur dans un réacteur. Un autre aspect fondamental de la recherche à l'IRSN est la protection de l'homme et de l'environnement. Elle s'intéresse autant à l'acquisition de connaissances qu'aux études à visée opérationnelle. Elle a ainsi mené à une collaboration au projet européen Oramed (2008-2011), source de recommandations pour optimiser l'exposition aux rayonnements ionisants du personnel médical.

Matthieu Schuler met cependant en garde contre un risque actuel : *“Base de la maîtrise des risques, la recherche ne doit pas voir sa part structurelle sacrifiée au profit des services d'expertise... même en temps de crise.”* ■

Pour en savoir plus : www.irsn.fr, rubrique La Recherche > Principes et organisation > Présentation

1. Low Dose Research towards Multidisciplinary Integration.
2. Strategy for Allied Radioecology.
3. Severe Accident Research Network of Excellence.
4. Nuclear Generation II & III Association.
5. Multidisciplinary European Low Dose Initiative.
6. Voir article en page 4, rubrique Temps forts.



Victor Dias (à gauche) lors de sa thèse à l'Institut avec son tuteur, Jean-Marc Bonzom, dans le laboratoire de radioécologie et d'écotoxicologie.

Partager et élargir sa connaissance scientifique

Journées des thèses. Chaque année, les doctorants et postdoctorants de l'Institut ont l'occasion de présenter leurs travaux à un public de spécialistes.

Organisées chaque fois dans des villes différentes, les journées des thèses de l'IRSN se sont déroulées, cette année, du 2 au 5 octobre au Croisic (Loire-Atlantique). Elles permettent aux doctorants et postdoctorants de l'Institut de présenter et d'échanger sur leurs travaux. *“C'est l'occasion d'un partage de savoir entre tous les participants, que ce soit durant les conférences ou au moment des repas, explique Gauzelin Barbier, chargé à l'IRSN du pilotage de la formation par la recherche. Le séminaire abordant la santé, l'environnement et la sûreté, tout le monde se retrouve sur des thèmes transverses.”* C'est l'opportunité pour les étudiants comme pour les 200 personnes venues les écouter – chercheurs de l'IRSN, membres de la direction, universitaires extérieurs – d'élargir leur champ de connaissance et de sortir de leur spécialisation.

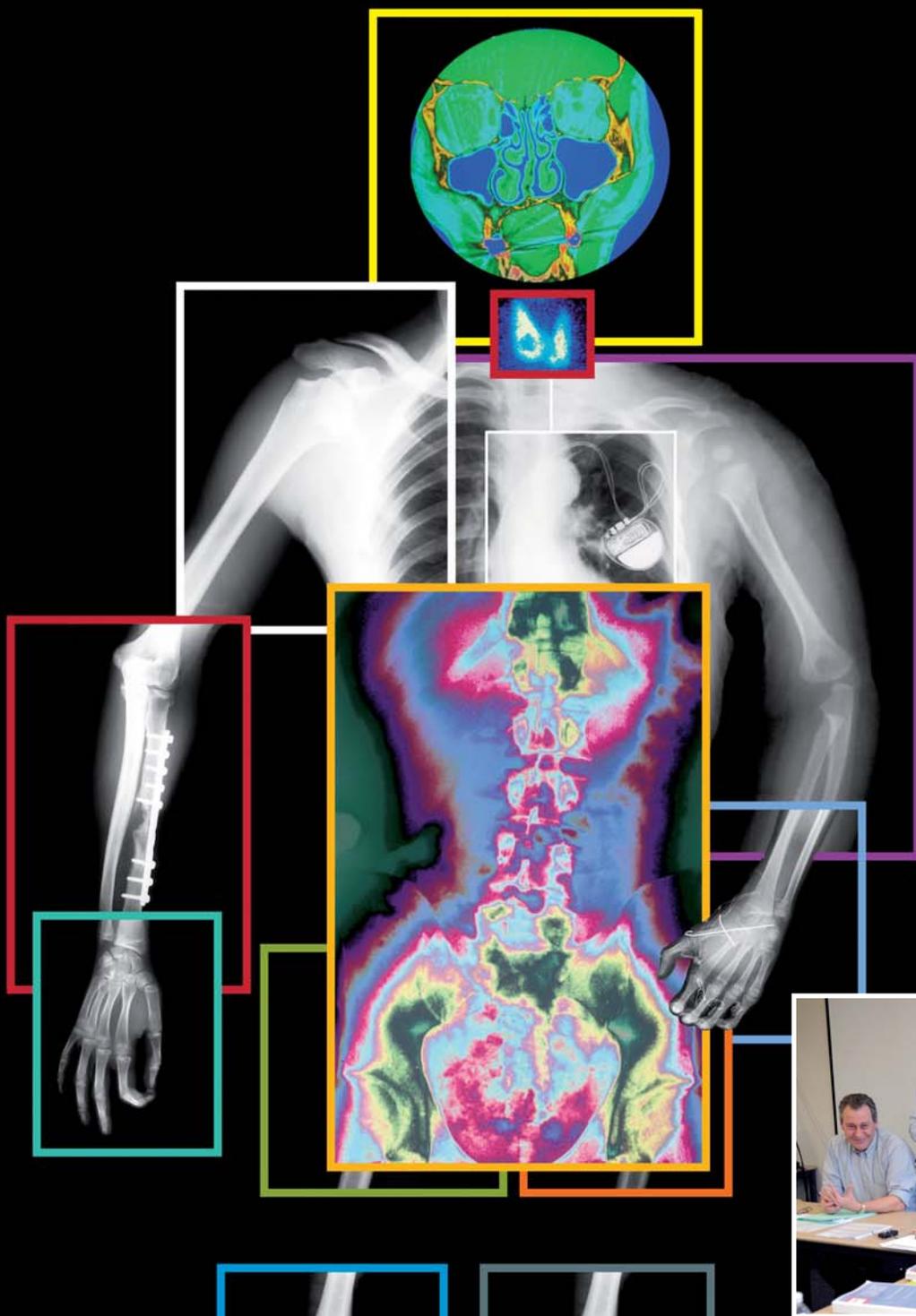
“Ces 80 étudiants ont tous pour tuteur un chercheur de l'IRSN, que leurs travaux se déroulent sur un de ses sites ou dans un laboratoire universitaire”, précise-t-il. Les journées

offrent à ces chercheurs de demain, à plusieurs reprises, la chance de présenter la problématique et l'avancée de leurs travaux à des spécialistes venus se nourrir de leurs premiers résultats. Autant de galops d'essai avant la soutenance de leur thèse.

Intervenants extérieurs

La première journée est ouverte sur l'extérieur. Des universitaires présentent les travaux de leurs laboratoires et leurs liens avec la recherche de l'IRSN. Les trois jours suivants, c'est le tour des doctorants et postdoctorants de l'IRSN. Leurs interventions sont regroupées par thème des unités de recherche, chacune étant introduite par le directeur de cette unité. *“Cette introduction apporte un point de vue global sur tout ce qui se fait en recherche. Elle précise le contexte des travaux et leurs enjeux”,* conclut Gauzelin Barbier. ■

Pour en savoir plus : www.irsn.fr, rubrique La Recherche > Formation par la recherche > Thèses



Radioprotection des patients : participez à une formation adaptée à votre discipline

Vous êtes un professionnel de santé qui délivre des rayonnements ionisants à vos patients à des fins diagnostiques ou thérapeutiques; vous êtes ingénieur ou technicien de maintenance en charge du suivi d'installations médicales radiologiques... Comment protéger les patients lors d'examens ? Comment se conformer à la réglementation ? L'IRSN vous propose une formation intitulée « Radioprotection des patients exposés aux rayonnements ionisants ». Elle se décline, à partir d'un tronc commun, en différents modules en fonction de la spécialité des participants : imagerie radiologique ; radiologie interventionnelle ; bloc opératoire ; radiologie dentaire ; médecine nucléaire ; radiothérapie ; maintenance et contrôle de qualité. Des experts en radioprotection médicale de l'Institut animent ces formations, en transmettant leurs connaissances. Les stages sont organisés soit au sein de votre établissement, soit au cours de sessions programmées au siège de l'IRSN à Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine). **Consultez le programme des formations sur le site de l'IRSN.**

Renseignez-vous dès maintenant

Tél. : 01 58 35 71 00

E-mail : genevieve.laborde@irsn.fr
Site : www.irsn.fr, rubrique Prestations et formations

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Enhancing Nuclear Safety*