

Repères

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

N°24
février 2015

SÛRETÉ

**Comment anticiper
la fatigue thermique
des matériaux ?**

GAMMAGRAPHIE INDUSTRIELLE

**Délimiter et baliser
les zones d'opération**

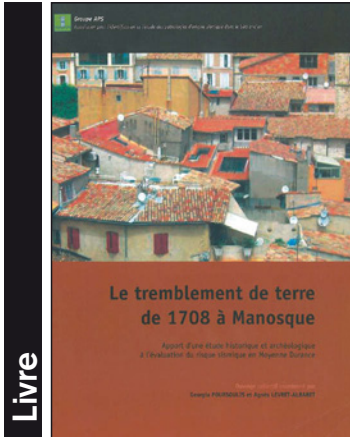
Eau

**La santé radiologique
des rivières**



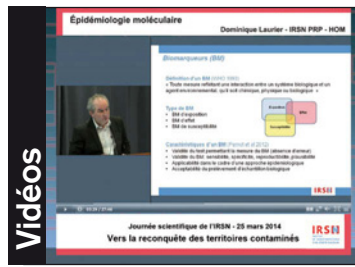
Retrouvez chaque trimestre une sélection de publications, vidéos, sites Internet et manifestations de l'IRSN.

Les enseignements d'un séisme vieux de plus de trois siècles



Une aubaine pour les sismologues de l'IRSN! Les dégâts causés sur 740 bâtiments par le tremblement de terre de 1708 à Manosque (Alpes-de-Haute-Provence) ont été décrits avec précision par des maçons de l'époque. Les experts se sont servis de ces données pour améliorer l'évaluation des caractéristiques de ce séisme et préciser l'aléa sismique dans la région. Une étude particulièrement utile car à quelques kilomètres de la faille qui a causé ce sinistre, se trouvent le chantier Iter et le centre de recherche du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) de Cadarache (Bouches-du-Rhône).

Tremblement de terre de 1708 à Manosque (Éd. Groupe APS)



Quand autoriser le retour de la population dans des territoires contaminés? Que faire pour que cela se passe dans de bonnes conditions? Quel est le rôle des experts? Quelles sont les pistes de recherche à poursuivre, voire à explorer? Ces questions ont été abordées lors d'une journée organisée par le Conseil scientifique de l'IRSN en mars 2014. Les présentations des experts de l'Institut et de ses partenaires ont été filmées et mises en ligne dans leur intégralité.

Deux articles de ce numéro de *Repères* portent sur les situations post-accidentelles : l'un revient sur l'expérimentation de l'outil cartographique Opal par plusieurs élus locaux (p.9); l'autre propose un échange entre un maire japonais confronté à l'accident de Fukushima et l'un de ses homologues français (p.20).

www.irsn.fr/reconquete



Présenter la station expérimentale de Tournemire (Aveyron), expliquer comment les recherches de l'IRSN dans cet ancien tunnel ferroviaire permettent de mieux expertiser les risques liés au stockage géologique de déchets nucléaires... En ouvrant les portes du site, le 21 septembre 2014, l'Institut répondait à la curiosité et aux questions des riverains. C'est la troisième fois qu'il organise une telle visite,

www.irsn.fr/tournemire



Comment mieux soigner des lésions de la peau induites par une surexposition aux rayonnements ionisants? Plusieurs voies nouvelles sont explorées. C'est le sujet du dossier d'*Aktis* n°18, publication trimestrielle destinée aux scientifiques et qui présente les résultats de la recherche de l'IRSN. Ce périodique existe aux formats PDF et HTML, en versions PC et mobile, en français et en anglais. Parmi les autres thèmes abordés : la prévention du risque sanitaire lié à l'exposition au radon dans les habitations et la modélisation des rejets radioactifs lors de la rupture d'un tube de générateur de vapeur.

www.irsn.fr/aktis

www.irsn.fr/aktis-EN (pour la version anglaise)



Sommaire

En couverture : Des mesures sont réalisées à la surface du lac de Feyt (Corrèze).
Crédit photo : Laurent Zylberman/Graphix-Images/IRSN

INTÉRÊT PUBLIC | 9
Comment des élus anticipent les impacts d'un accident ?

EN PRATIQUE | 17
Délimiter une zone lors de tirs de gammagraphie industrielle

EN DÉBAT | 20
Les élus sont-ils prêts à gérer le post-accident ?

STRATÉGIE | 22
Faire avancer la sûreté et la radioprotection par les normes

Dossier du prochain numéro de *Repères* (mai 2015)
Prévention des incendies

TEMPS FORTS | 4
Mieux prévenir le risque de criticité

Professionnels, vos données dosimétriques sont essentielles

FAITS & PERSPECTIVES | 6
Comment anticiper la fatigue thermique des matériaux ?



Laurent Zylberman/Graphix-Images/IRSN

Ne pas oublier l'eau !

À l'IRSN, nous mesurons et nous étudions la radioactivité de l'air, mais aussi celle des autres milieux. L'eau notamment. Comme l'a montré l'accident de Fukushima au Japon, la qualité de cette ressource vitale est une préoccupation importante pour la population. Avec sept stations Hydrotéléray et trente hydrocollecteurs, nous surveillons attentivement les principaux cours d'eau français. Nos appareils détectent des niveaux de plus en plus bas de radioactivité. Nous ne négligeons pas non plus d'observer les rejets liés au nucléaire de proximité (hôpitaux, etc.). Des outils de modélisation existent. Ils permettent d'affiner notre expertise sur le transfert des radionucléides dans les nappes, fleuves et rivières, notamment en cas d'incident ou d'accident. Tout cela est détaillé dans le dossier de ce numéro de *Repères*.

Jean-Christophe Gariel,
directeur de l'environnement à l'IRSN



Antoine Devouard/IRSN

Vidéos



Photos



Sons



Articles



Prolonger la lecture de *Repères* avec le webmagazine sur www.irsn.fr

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

IRSN

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 : Jacques Repussard – Directrice de la rédaction : Marie-Pierre Bigot – Rédactrice en chef : Catherine Roulleau – Assistante de rédaction : Isabelle Cussinet – Comité de lecture : Michel Brière, François Paquet – Rédaction et réalisation : SPECTRIQUE – Iconographie : Charlotte Heuzé – Impression : Galaxy (72) – Imprimé sur Cyclus print
– ISSN : 2103-3811 – février 2015.

Erratums

En page 5 du numéro 23 de *Repères*, dans l'article sur les risques liés aux anciennes mines d'uranium, une confusion a été introduite entre "résidus d'exploitation" et "stériles". Les premiers résultent du traitement du minerai, les seconds désignent les roches qui ont été excavées pour l'extraire.

En page 9, les mesures réalisées par les lycéens de Cusset (Allier) n'ont pas été supervisées par le laboratoire de dosimétrie de l'IRSN mais par le bureau d'évaluation des risques liés à la radioactivité naturelle (BRN), dont Jérôme Guillevic est le responsable.

En page 18, même si le radon est plus lourd que l'air, ce n'est pas la raison pour laquelle il s'accumule dans les pièces les plus basses des habitations. Cela s'explique par le fait que ses voies d'entrées se situent au niveau du sol.



Cristal sert, par exemple, à prévenir les risques de criticité lors du transport de combustibles, comme ici dans un terminal ferroviaire.

Marc Rousse/Interfinks Image

Nouvelle version de Cristal

Mieux prévenir le risque de criticité

La nouvelle version de l'outil Cristal facilite l'analyse des risques de criticité¹ à toutes les étapes du cycle du combustible nucléaire – fabrication, entreposage, transport et traitement. "Il permet par exemple de visualiser en 3D l'architecture d'un conteneur de transport de matières nucléaires ou les différents éléments d'un atelier de fabrication d'assemblages combustibles", précise Nadine Comte, experte en neutronique² et criticité chez Areva NP.

Une ergonomie améliorée

La prévention des risques de criticité repose sur la configuration des installations et les modes opératoires, qui maintiennent les matières fissiles dans un état "sous-critique". Fruit d'une collaboration entre l'IRSN, le CEA et Areva, Cristal V2 est un ensemble intégré de logiciels de neutronique et d'outils d'interface. Il sert à évaluer les risques de criticité et à dimensionner les équipements, en justifiant leur sûreté en situation nor-

male comme accidentelle. "La nouvelle version marque un saut qualitatif, estime Jean-Michel Gomit, expert en sûreté nucléaire à l'IRSN. Les utilisateurs ont été associés dès le départ à son développement. Cristal V2 engrange dix ans d'expérience de la V1. Elle bénéficie des données les plus récentes et des dernières avancées sur les logiciels de calcul. Elle offre une ergonomie améliorée. Sa base de qualification – étendue à 2300 expériences – intègre de nouveaux combustibles et s'applique à plus de situations."

Disponible depuis l'automne en France, cette "boîte à outils" sera prochainement déposée à la banque de données de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE-AEN), pour une diffusion internationale. ■

1. Risque de déclenchement d'une réaction en chaîne incontrôlée.

2. Étude du cheminement des neutrons dans la matière et des réactions qu'ils y induisent.

Coopération internationale

Évaluer la dose en cas d'accident de criticité

Les accidents de criticité sont rares. Le dernier, survenu au Japon, remonte à 1999. Pourtant, si un tel événement survenait, les experts de l'Institut doivent disposer d'outils fiables pour estimer rapidement les doses. En septembre 2014, ils ont évalué avec des scientifiques américains et anglais des outils de dosimétrie spécifiques à ce type d'accident. La collaboration avec le département de l'Énergie américain (DOE) et l'établissement britannique de recherche sur les armes nucléaires (AWE¹) se poursuivra en 2015 sur un réacteur expérimental situé dans le Nevada (États-Unis). Elle s'inscrit dans le projet Princess², destiné à acquérir des données expérimentales dans le domaine de la criticité.

1. Atomic Weapons Establishment.

2. Project for IRSN neutron physics and critically experimental data supporting safety.

En chiffre

81,8

millions d'actes médicaux diagnostiques ont été réalisés en France en 2012, soit 1 247 pour 1 000 habitants. Cela représente une dose efficace moyenne de 1,6 mSv par personne sur l'année, contre 1,3 mSv en 2007. Soit une augmentation de 20 %.



Pour en savoir plus

• Lire le rapport Étude sur l'exposition de la population aux rayonnements ionisants (Expri) : www.irsn.fr/expri

Niveaux de référence diagnostiques

Professionnels, vos données dosimétriques sont essentielles

Les données pédiatriques ne représentent que 2,6% des résultats d'évaluations dosimétriques transmis par les services de radiologie à l'IRSN et 0,7% des scanners. Conséquence : "Nous ne pouvons pas mettre à jour les niveaux de référence diagnostiques (NRD) pour les actes concernant les enfants si les données venant des professionnels sont insuffisantes, regrette Patrice Roch, expert en radioprotection médicale à l'Institut. A contrario, le volume d'informations reçues pour l'adulte a permis d'établir des statistiques plus solides. Nous

avons même pu proposer un indicateur de dose en dessous duquel se situent 25% des services – un meilleur objectif pour ceux déjà engagés dans une démarche d'optimisation."

Les NRD aident les professionnels à se situer. "Nous comparons nos résultats avec ces chiffres et mettons en œuvre, si besoin, des actions correctives", explique Didier Defez, physicien médical au CHU de Lyon. Transmettre ses données contribue à l'amélioration continue des pratiques.

Le bilan des évaluations réalisées en 2011-2012, publié par l'IRSN, montre



Chaque année, les services d'imagerie doivent réaliser une évaluation dosimétrique sur une trentaine de leurs patients.

une diminution des doses par examen par rapport à 2010. Revus à la baisse, les nouveaux NRD devraient conduire les équipes à faire mieux en 2015. ■

Pour en savoir plus
www.irsn.fr/nrd-bilan

Projet Astrid

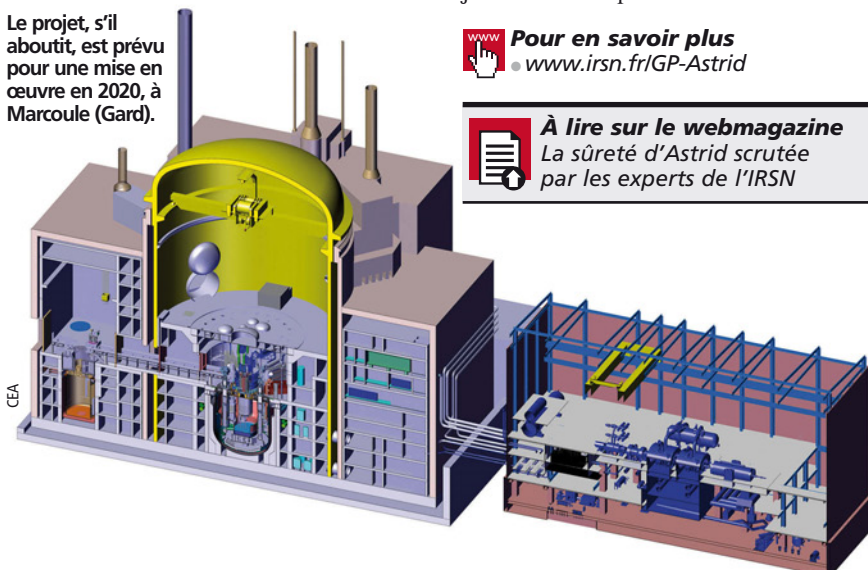
La sûreté des réacteurs de quatrième génération

L'Institut a examiné le dossier d'orientations de sûreté d'Astrid, le futur réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium – dit de quatrième génération – développé par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). Il a identifié des sujets à approfondir dans le projet : objectifs et critères de sûreté, protection contre les agressions externes extrêmes, risques liés à l'utilisation

de sodium, etc. La lettre adressée au CEA en avril 2014 par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) reprend les conclusions de cette expertise, présentée devant le Groupe permanent d'experts pour les réacteurs.

L'IRSN se prépare maintenant à examiner le dossier d'options de sûreté que doit remettre le CEA à l'ASN fin 2015. Ce document proposera les orientations en choix techniques de conception du réacteur et justifiera les options retenues. ■

Le projet, s'il aboutit, est prévu pour une mise en œuvre en 2020, à Marcoule (Gard).



Pour en savoir plus
www.irsn.fr/GP-Astrid

À lire sur le webmagazine
 La sûreté d'Astrid scrutée par les experts de l'IRSN

Vallée du Rhône

Constat radiologique

Disposer d'un état de référence des niveaux de radioactivité dans l'environnement auquel pouvoir comparer les résultats de mesures enregistrées après une éventuelle pollution radiologique accidentelle. C'est l'un des objectifs du constat radiologique de la vallée du Rhône, présenté par l'IRSN aux acteurs locaux le 17 novembre 2014 à Valence (Drôme). Complémentaires à celles fournies par les prélèvements de routine autour des centrales, les données de ce bilan sont plus précises et, surtout, concernent tous les compartiments du territoire : fleuve, denrées agricoles, faune, sols, etc. L'Institut a observé jusqu'aux traces de plutonium 239 ou de cobalt 57 résultant des retombées d'essais d'armes nucléaires des années 1960. Tout écart qui pourrait survenir par rapport à ce "niveau 0" – aujourd'hui sans risque – pourra être analysé précisément. Cette "photographie" vise aussi à étudier le comportement des radionucléides dans l'environnement. À ce jour, trois constats radiologiques ont été réalisés : vallées du Rhône, de la Loire et sites miniers. Cinq autres sont attendus d'ici à 2017.

Pour en savoir plus
www.irsn.fr/constat-rhone



1 Christel Sasso/EDF



2 Antoine Soubigou/EDF

Comment anticiper la fatigue thermique des matériaux ?

Sûreté. Quinze ans de recherches ont permis de comprendre la fatigue thermique des matériaux dans les zones de mélange des centrales. Ce phénomène était insoupçonné le 12 mai 1998, quand une fuite est survenue sur le circuit de refroidissement à l'arrêt du réacteur n°1 de Civaux (Vienne). Il est désormais pris en compte dans les nouveaux projets, comme EPR.

Jean-Marc Stelmaszyk, spécialiste du sujet à l'IRSN. *L'incident de 1998 n'était ni prévisible ni explicable par les méthodes traditionnelles d'analyse de la fatigue mécanique. Ce constat a été le point de départ de 15 années d'études, de recherches et de plans d'actions pour comprendre l'origine du problème et apporter les réponses nécessaires.*



Ne pas se fier au seul "facteur d'usage" pour évaluer les risques de fissuration dans les zones des centrales nucléaires où se mélangent des eaux chaudes et froides. Organiser le contrôle des tuyauteries qui s'y trouvent en fonction de leurs durées de fonctionnement à écart de température supérieur à 50°C. Voilà deux des conclusions formulées par l'IRSN en 2014, concernant les suites d'un incident survenu en 1998 et classé au niveau 2 par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Alors que le réacteur n°1 de Civaux (Vienne) était en maintenance, une fuite d'eau importante – 30m³ par heure – est apparue sur l'une des deux voies du circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA). L'abaissement de température

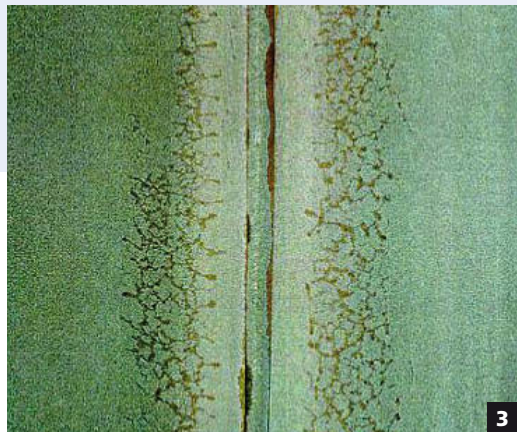
a été assuré par l'autre voie, ce qui a maintenu la sûreté de l'installation. L'examen a révélé une fissuration de la soudure d'un coude en acier inoxydable dans une zone de la tuyauterie où se mélangent des eaux chaude (180°C) et froide (20°C). "Ce phénomène de fatigue thermique dans les zones de mélange n'avait pas été anticipé à la conception des réacteurs à eau sous pression, souligne

Tous les réacteurs concernés

Dès 1999, des contrôles par ultrasons réalisés sur les circuits RRA des autres réacteurs du palier 1450MW, puis sur tous ceux en exploitation, ont montré qu'il s'agissait d'un problème générique. Toutes les tuyauteries examinées présentaient des fissurations. Entre 1999 et 2002, EDF a remplacé les zones de mélange des circuits RRA sur la totalité du parc. Des améliorations (arasage des soudures et polissage de la surface interne des tuyauteries, etc.) ont été apportées aux nouveaux composants installés pour réduire leur sensibilité à la fatigue thermique. Des recherches ont été engagées par l'exploitant et le constructeur Areva (ex-Framatome), ainsi que par l'IRSN en lien avec le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies

LEXIQUE

■ **Facteur d'usage.** Cet indicateur sert à évaluer le dommage en fatigue mécanique. Il correspond au rapport entre le nombre de sollicitations appliquées à un composant donné et le nombre de sollicitations maximal indiqué par la courbe de fatigue mécanique du matériau qui constitue cette pièce.



3 IRSN

1. Dès 1999, la fatigue thermique est apparue comme un problème générique (ici, la centrale de Saint-Alban, dans l'Isère).
2. Arasage des soudures et polissage de la surface interne des tuyauteries... Sur le chantier de l'EPR de Flamanville (Manche), le phénomène de fatigue thermique a été anticipé.
3. L'intérieur du coude de tuyauterie à l'origine de la fuite de 1998 sur le réacteur 1 de Civaux. Des fissures en "faiénçage" sont visibles autour du relief formé par les cordons de soudure.

alternatives (CEA). Côté EDF, les travaux ont porté sur l'identification et l'évaluation des risques potentiels de fatigue. L'analyse systématique des tuyauteries déposées, complétée par des essais sur maquettes et des modélisations, a mis en évidence les facteurs clés d'apparition des fissures. Sont principalement en cause un écart de température entre fluides chaud et froid supérieur à 50°C et de longues durées de sollicitations répétées des tuyauteries avec ce fort delta.

Et toutes les zones de mélange

L'analyse des risques a été étendue aux autres circuits des réacteurs comportant des zones de mélange, notamment à certaines tuyauteries connectées au circuit primaire. "Les simulations numériques réalisées par l'IRSN ont montré l'impact du tracé de la ligne de tuyauterie sur les fluctuations thermiques. Cela peut suffire à endommager la structure, ajoute Jean-Marc Stelmaszyk. Nos études ont permis de mieux apprécier les particularités d'une sollicitation par fatigue thermique, par rapport à celles prises en compte pour la fatigue mécanique. D'autres expériences, sur maquettes 3D, ont révélé que le nombre de cycles pour amor-

Qu'entend-on par fatigue thermique ?

Face à des variations de température, les matériaux se dilatent ou se contractent. Mais s'ils ne peuvent pas le faire librement, cela génère une contrainte. Si cette dernière est répétée, une fatigue thermique peut apparaître. Explication du phénomène qui a conduit à la fissuration d'une tuyauterie du circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA) de la centrale de Civaux (Vienne) en 1998.

1. **Le principe du circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA)** est de prélever, dans les états d'arrêt du réacteur, de l'eau chaude inférieure à 180°C dans le circuit primaire pour la réinjecter à une température plus basse afin de refroidir le cœur.
2. **La zone de mélange** se situe là où se rencontrent des fluides à fort écart de température.
3. **Des fissures superficielles, dites en "faiénçage"**, peuvent apparaître, mais aussi des fissures isolées plus profondes, localisées au niveau des singularités, comme les reliefs formés par les cordons de soudure. Dans les réacteurs de 1 450 MW, comme celui de Civaux, le problème était aggravé par la présence d'un coude de tuyauterie et de soudures dans cette zone.
4. **Comment limiter le phénomène ?**
L'IRSN recommande, entre autres, de contrôler les tuyauteries des zones de mélange des RRA toutes les 450 heures de fonctionnement à fort écart de température. Il demande aussi d'adapter cette démarche à d'autres zones de mélange.

Antoine Dagan/Spécifique/IRSN - Source : IRSN

cer une fissure est toujours inférieur à celui prédit par les méthodes usuelles d'analyse de la fatigue mécanique." À partir des résultats de ces travaux, EDF a défini une politique d'exploitation, de suivi en service et de remplacement des zones de mélange applicable à tous les réacteurs.

Les équipes de conduite ont été formées à de nouvelles pratiques pour limiter le temps de marche à fort écart de température. Dès 2000, EDF a mis en place un programme de contrôle par ultrasons de ces zones des circuits RRA toutes les 450 heures de fonctionnement dans ces ●●●

3 questions à... **Nicolas Robert**

Spécialiste des tuyauteries primaires et secondaires chez EDF

●●● conditions. À la suite de demandes de l'IRSN et de l'ASN en 2003, des seuils de durée de fonctionnement à fort delta de température ont été définis pour toutes les zones sensibles. Depuis 2008, dans les centrales en exploitation, les équipes d'EDF comptabilisent au jour le jour les durées des sollicitations. Cela peut conduire à renforcer les contrôles lors des dépassements de seuils, mais cette démarche n'est pas systématique.

Des améliorations pour l'EPR

"À l'issue de ces 15 années de travaux et de dialogue technique avec l'exploitant, nous comprenons mieux le phénomène, résume Thierry Payen, expert en mécanique des structures à l'IRSN. L'EPR a été conçu pour éviter toute situation d'exploitation durable avec un mélange nocif de fluides chauds et froids. Les résultats des travaux ont été partagés avec l'industrie nucléaire mondiale, au bénéfice de la sûreté."

Les connaissances sur la fatigue thermique sont encore à approfondir et la vigilance reste de mise face à un phénomène qui exige un suivi en service adapté. *"Dans l'avis rendu en 2014, l'Institut a émis des réserves sur une évaluation du risque par l'exploitant qui s'inspire encore des règles de dimensionnement utilisées pour la fatigue mécanique. Les contrôles doivent rester pragmatiques. Ils sont à anticiper dès qu'un équipement atteint son seuil critique de durée, sans attendre les visites décennales. L'approche d'EDF est en train d'évoluer dans ce sens", conclut Thierry Payen. ■*

De nouvelles fissurations ont été découvertes sur des zones de mélange du RRA déjà remplacées en 1999-2002. Le problème n'est pas réglé ?

Suite à des contrôles périodiques, nous avons de nouveau remplacé en 2012 des composants sur deux réacteurs des centrales de Dampierre-en-Burly (Loiret) et de Cruas (Ardèche). Ces dernières faisaient partie de celles qui avaient le plus sollicité leurs circuits depuis les premiers changements de pièces. Cela souligne l'importance des conditions d'utilisation des circuits et la nécessité du suivi en service. La fatigue thermique est un phénomène cumulatif. Il faudra sans doute intervenir à nouveau sur d'autres réacteurs d'ici la fin de leur durée d'exploitation.

L'incident de Civaux a-t-il permis de progresser dans le domaine des contrôles non-destructifs ?

Oui. Les zones de mélange ont été

un terrain précurseur pour la qualification et l'application de techniques innovantes, telles que les contrôles par ultrasons des géométries complexes.

Quelles sont aujourd'hui les priorités de recherche sur la fatigue thermique ?

La mise au point de modélisations numériques, qui permettront de mieux évaluer le risque d'apparition de fissures.



tant qui s'inspire encore des règles de dimensionnement utilisées pour la fatigue mécanique. Les contrôles doivent rester pragmatiques. Ils sont à anticiper dès qu'un équipement atteint son seuil critique de durée, sans attendre les visites décennales. L'approche d'EDF est en train d'évoluer dans ce sens", conclut Thierry Payen. ■



Pour en savoir plus

- Article "Fatigue thermique des zones de mélange", en p. 62 du rapport Point de vue de l'IRSN sur la sûreté et la radioprotection du parc électronucléaire français en 2013 : www.irsn.fr/parc-2013
- Avis n° 2014-00086 de l'IRSN, "Bilan de l'affaire fatigue thermique des zones de mélange", à paraître.

AILLEURS Astrid n'échappera pas à la fatigue thermique



A. Gomin/CEA

Le retour d'expérience sur l'ancienne génération de réacteur au sodium (ici, la centrale Phénix) devrait bénéficier au projet Astrid.

"La mise en œuvre du projet de démonstrateur Astrid, qui réactive la filière des réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium, remettra à l'ordre du jour les questions de sûreté relatives à la fatigue thermique", indique Jean Couturier, expert senior à l'IRSN. Car le phénomène n'est pas propre aux réacteurs à eau sous pression (REP). *"Nous nous y sommes intéressés dès les années 1980, à la suite de problèmes apparus sur le réacteur Phénix, en service de 1974 à 2010."* Celui-ci et, d'une manière générale, les réacteurs au sodium fonctionnent avec des écarts de température entre fluides chauds et froids plus importants que dans les REP. *"La maîtrise du phénomène de fatigue thermique est cruciale pour l'avenir de ce type de réacteur. La déconstruction de Phénix devrait apporter des enseignements en permettant l'examen détaillé de composants inaccessibles dans une installation en service."* ■



Pour en savoir plus sur Astrid

- lire l'article sur "La sûreté des réacteurs de quatrième génération", en p. 5

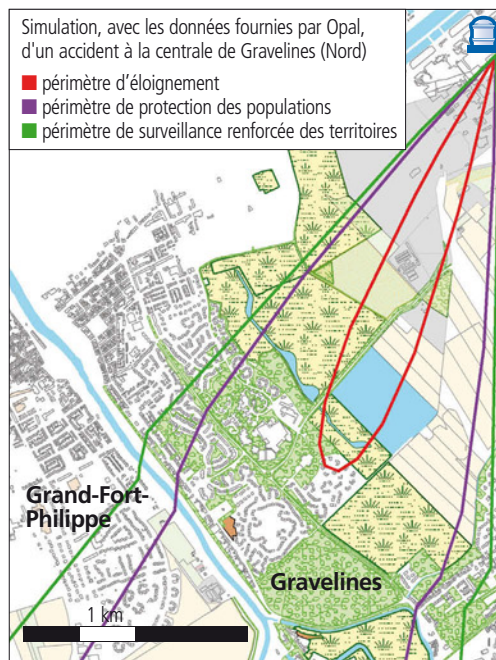
Comment des élus anticipent les impacts d'un accident?

Après la crise. Que faire une fois passée la phase d'urgence d'un accident nucléaire? Comment gérer les conséquences environnementales et économiques? Des élus locaux travaillent sur ces questions. Un outil, baptisé Opal¹, est à leur disposition pour les guider.

En cas d'accident nucléaire avec rejets radioactifs en France, toute une organisation de crise serait mise en œuvre, au niveau national et préfectoral. "Mais les plans définis ne concernent que la phase d'urgence. Après, les acteurs locaux – élus, chambres d'agriculture, associations, etc. – sont assez démunis pour appréhender les enjeux", déplore Maïté Noé, élue responsable des questions de sécurité à la mairie de Vinon-sur-Verdon (Var). L'outil Opal, développé par l'IRSN avec l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (Anccli), aide à mieux se représenter les impacts d'un tel événement. "Il permet de les visualiser sur des cartes pour un territoire donné", explique Céline Quenneville, qui étudie les conséquences des accidents nucléaires à l'IRSN. À l'écran apparaissent les terrains qui seraient impactés sur la base de scénarios prédéterminés par les modélisations de l'Institut : périmètres² d'éloignement, de protection des populations et de surveillance renforcée des territoires (cf. schéma ci-contre). Quatre commissions locales d'information (CLI) ont testé Opal, à Golfech (dans le Tarn-et-Garonne), Gravelines (Nord), Marcoule (Gard) et Saclay (Essonne).

Parler de crise nucléaire sans peur ni retenue

"En donnant une mesure de ce que pourraient être les conséquences d'un accident, cet outil permet de s'affranchir des fantasmes, estime Jean-Pierre



Lieux prioritaires pour la réduction de la contamination, champs susceptibles d'être touchés... Les enjeux pour la communauté urbaine de Dunkerque (Nord) apparaissent à l'écran.

Charre, qui a piloté l'expérimentation à la CLI Marcoule-Gard. Grâce à lui, j'ai pu parler de crise nucléaire sans violence, peur ou retenue!"

Opal ne suffit pas, à lui seul, à mettre en œuvre une démarche de réflexion sur le post-accident. Un élu moteur, comme l'a été Jean-Pierre Charre dans sa région, est nécessaire. Celui-ci, alors maire d'Orsan (Gard), a réuni autour de la table des acteurs de son département, mais aussi de la Drôme et du Vaucluse: conseils généraux, communes, syndicats de vigneron, associations, etc. Objectif: réfléchir aux conséquences possibles d'un accident et identifier les enjeux. "Les chambres d'agriculture et les chambres de commerce et d'industrie

ont pris conscience qu'un événement, même modéré, pouvait toucher les intérêts qu'elles représentent, raconte-t-il. Elles nous ont communiqué toutes leurs données: cadastres agricoles, sites industriels, etc." En croisant ces informations et celles du Syndicat intercommunal d'information géographique avec celles issues des scénarios post-accidentels fournis par Opal, les enjeux apparaissent à l'écran.

Favoriser la mutualisation

Maïté Noé n'a pas pu tester l'outil, mais elle prépare un volet post-accidentel à intégrer dans le Plan communal de sauvegarde qui prend en compte l'ensemble des risques de sa commune. Elle espère que la CLI d'Iter-Cadarache (Bouches-du-Rhône) – à laquelle son village est rattaché – s'appuiera à son tour sur Opal pour sensibiliser les autres acteurs de la DLVA (Durance-Lubéron-Verdon-Agglomération). "La mutualisation des ressources entre communes est nécessaire en cas de gestion post-accidentelle", assure-t-elle. ■

1. Outil de sensibilisation aux problématiques post-accidentelles à destination des acteurs locaux.
2. Ces périmètres calculés par l'outil Opal ne coïncideraient pas nécessairement avec les zones de gestion administrative des risques qui seraient décidées par le préfet.

Pour en savoir plus

- sur la gestion post-accidentelle: <http://post-accidentel.asn.fr>
- sur la démarche Anccli-IRSN de sensibilisation des acteurs locaux à la gestion post-accidentelle: www.irsn.fr/post-accident
- sur l'outil Opal: celine.quenneville@irsn.fr

Eau

La santé radiologique des rivières

La préservation de la ressource en eau est un enjeu majeur. La surveillance de la qualité radiologique des cours d'eau en est l'une des facettes. Comment s'exerce-t-elle ? Que mesure-t-on à l'aval des centrales ? Que représentent les rejets hospitaliers ? Peut-on retracer la pollution d'un fleuve à partir de ses sédiments ? Experts de l'IRSN et acteurs de la société civile apportent leurs éclairages.



L'IRSN assure la surveillance de l'environnement autour des anciennes mines d'uranium en France. Ici, prélèvement d'eau et de sédiments dans un étang de Corrèze, l'un des départements les plus concernés.

Comme pour les autres compartiments de l'environnement, l'IRSN assure une surveillance des fleuves et des rivières qui vise à garantir la protection des populations et des écosystèmes. *“Ce suivi permet de dire l'état de santé du milieu aquatique, se félicite Jean-Christophe Gariel, directeur de l'environnement à l'IRSN. Depuis une trentaine d'années, les radionucléides dus aux activités humaines n'ont cessé de baisser dans le réseau fluvial. Au point que, aujourd'hui, déceler cette radioactivité devient très difficile avec des moyens classiques.”*

Que détecte l'analyse radiologique des cours d'eau¹? *“D'abord le 'bruit de fond' de la radioactivité naturelle. Présent en amont comme en aval des installations nucléaires, ce signal reflète la nature géologique des terrains traversés par les cours d'eau, constate Olivier Pierrard, expert en surveillance de l'environnement à l'IRSN. Les rivières conservent les traces des retombées des essais nucléaires atmosphériques antérieurs à 1980 et de l'accident de 1986 à Tchernobyl (Ukraine) – principalement du césium 137 – que le lessivage des sols par les pluies continue de drainer vers le réseau fluvial. Les rejets actuels contribuent marginalement à l'apport de radionucléides artificiels. Les principaux marquages concernent le tritium et, dans une moindre mesure, le carbone 14 produits par les centrales sous la limite des rejets autorisés. On retrouve aussi l'iode 131 issu de la médecine nucléaire.”*

Suivre toutes les sources de rejets radioactifs

“D'une manière générale, ajoute Valérie Bruno, autre spécialiste de la veille environnementale à l'Institut, la radioactivité ajoutée par l'Homme aux rayonnements naturels reste faible et bien en deçà des seuils susceptibles d'avoir des effets sur les populations. Sauf pour le tritium, faiblement radiotoxique, et l'iode 131, les quantités mesurées diminuent au fil des ans du fait de la maîtrise croissante de leurs rejets par les exploitants.” Même si des progrès peuvent encore être faits pour la gestion des effluents, cela amène l'IRSN à faire évoluer sa stratégie de surveillance.

À la différence des exploitants d'installations, responsables de cette surveillance autour de leur site, la mission de l'Institut s'étend à l'ensemble du territoire. Elle englobe toutes ●●●

●●● les sources de rejets radioactifs : centrales nucléaires, usines de combustible, centres de recherche, hôpitaux et laboratoires médicaux. Elle s'exerce à une triple échelle, locale, régionale et nationale.

Abaisser d'un facteur 100 les limites de détection

Au plan local, cette veille radiologique s'appuie sur un réseau d'hydrocollecteurs implantés à proximité des centrales. Ils permettent d'analyser des échantillons d'eau et de matières en suspension. Des prélèvements ponctuels de sédiments ou d'organismes aquatiques – algues, mollusques, poissons... – et des sondes mobiles de télémesure, utilisées notamment à l'entrée de stations d'épuration urbaines, complètent le dispositif. Les constats radiologiques régionaux s'éloignent des installations pour prendre une "photographie" de l'état radiologique d'un territoire. L'eau est au cœur de ces études, réalisées le plus souvent à partir de campagnes

Mieux garantir la qualité des eaux de boissons en Europe

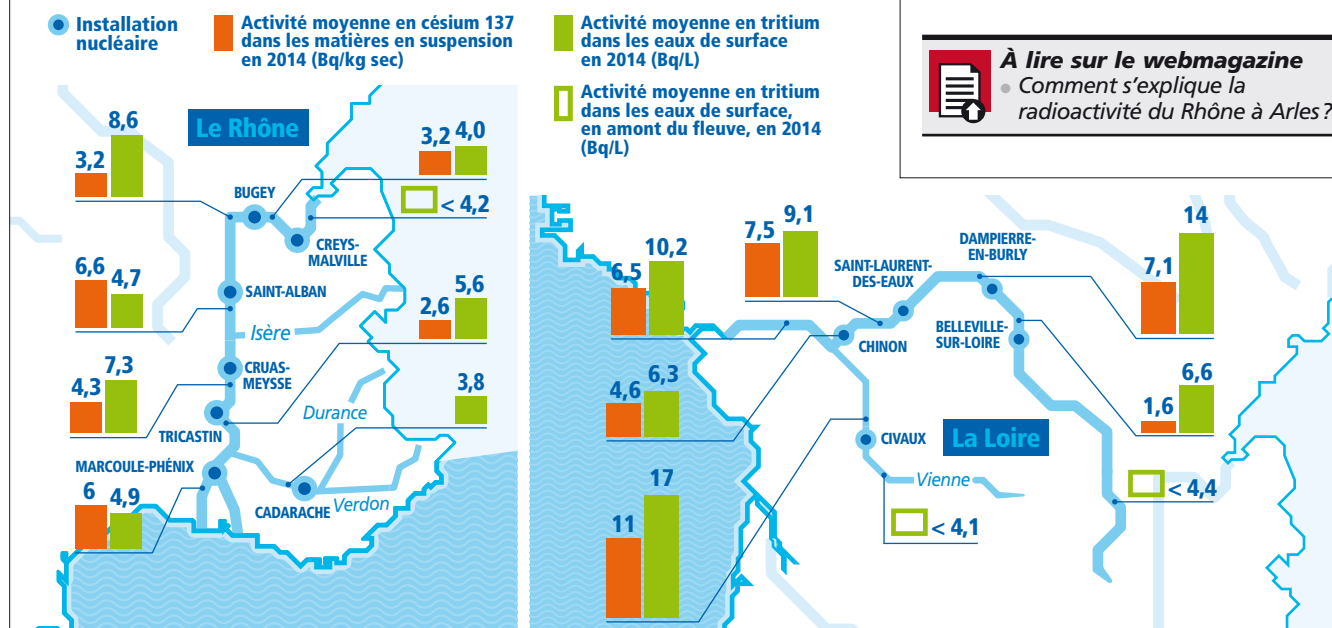
Renforcer la surveillance de la qualité sanitaire des eaux de consommation humaine – qui dépend notamment de la qualité des ressources aquatiques en amont. Tel est l'objet de la directive européenne 2013/51/Euratom du 22 octobre 2013 sur le contrôle des substances radioactives dans l'eau du robinet ou en bouteille (sauf eaux minérales naturelles). Le texte étend l'obligation de suivi au radon et abaisse les limites de détection imposées pour certains radionucléides. L'IRSN participe au groupe de travail chargé de transcrire en droit français les dispositions applicables à compter du 28 novembre 2015. ■

de prélèvements dans un bassin versant (Val de Loire, Vallée du Rhône, bassin de la Dordogne...). À l'échelle nationale, l'IRSN gère, avec Hydrotéléray, un réseau de balises de mesure en continu de la radioactivité dans les principaux fleuves en aval des installations nucléaires. Pour rendre cette surveillance plus efficace, les experts de l'Institut développent des outils, notamment des techniques de

mesure du tritium qui abaissent d'un facteur 100 les limites de détection par rapport aux moyens classiques². "L'enjeu est de pouvoir continuer à tracer la décroissance de la radioactivité dans l'environnement, en apportant des réponses crédibles et chiffrées aux interrogations de la société", souligne Jean-Christophe Gariel. L'autre priorité est "d'optimiser les plans de surveillance avec des moyens qui ne doublonnent pas avec ceux des exploitants. Le développement des constats radiologiques régionaux en est l'illustration." ■

Quel est l'état radiologique des fleuves ? Exemples de la Loire et du Rhône

On y mesure encore la présence de radionucléides artificiels, comme le césium 137 issu des retombées des essais atmosphériques passés et de l'accident de Tchernobyl (Ukraine) – dans les matières en suspension – et le tritium rejeté dans l'eau par les installations nucléaires. Les niveaux d'activité mesurés sont détectables mais ne présentent pas de risque sanitaire. Pour en savoir plus : www.irsn.fr/environnement



À lire sur le webmagazine
 • Comment s'explique la radioactivité du Rhône à Arles ?

Des rejets très contrôlés en aval des centrales

Surveillance. Des dispositifs de contrôle permettent de s'assurer qu'à aucun moment les effluents radioactifs ne dépassent les limites de rejets autorisées pour chaque centrale. Ils jouent aussi un rôle d'alerte en cas d'incident.

Si 98 % de l'eau prélevée par une centrale – dans un fleuve, une rivière ou la mer –, principalement pour refroidir les réacteurs, est restituée au milieu naturel¹, l'exploitation industrielle produit des eaux usées contenant des traces de radioactivité. "Pour une installation nucléaire, tout rejet dans l'environnement qui n'est pas spécifiquement autorisé est interdit", rappelle Michel Chartier, expert en radioprotection à l'IRSN. Ce principe de la réglementation française se double d'un autre : "Il n'existe pas de limite générale de rejets. Les quantités maximales de radionucléides permises dans les effluents sont propres à chaque installation et toujours les plus basses possibles. L'exploitant doit utiliser les meilleures techniques disponibles pour réduire ses émissions de polluants à la source."

Confirmer l'absence de risque

Avant la mise en service de l'installation, il fait une demande d'autorisation de rejet et de prélèvement d'eau auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Ce document spécifie les types de radionucléides et les niveaux d'activité qui vont être rejetés. L'IRSN intervient à ce stade. Il vérifie que les meilleures techniques disponibles ont été mises en oeuvre pour réduire les émissions de polluants à la source. Il effectue des études d'impact sanitaire indépendantes de celles réalisées par EDF. "Il s'agit d'estimer la dose maximale qui résulterait d'une exposition des populations d'usagers de l'eau aux limites de rejets demandées. L'objectif n'est pas de refaire les calculs de



Marc Didier/EDF

En aval de la centrale de Chooz (Ardennes), l'IRSN a mesuré dans l'eau de la Meuse une activité moyenne en tritium de 19,4 Bq/L en 2013. C'est plus que les niveaux mesurés hors influence d'une installation nucléaire – 1 à 3 Bq/L – mais moins que la référence de qualité fixée par le Code de la santé publique pour les eaux de boisson – 100 Bq/L.

l'exploitant mais de confronter nos évaluations dosimétriques, afin de confirmer l'absence de risque radiologique", précise Michel Chartier. EDF comme l'IRSN réalisent aussi des études d'impact sur les écosystèmes, même s'il n'existe pas à ce jour d'obligation formelle dans ce domaine.

L'ASN délivre une autorisation qui devra être renouvelée à chaque modification substantielle de l'installation ou de la réglementation. Responsable de son installation, l'exploitant établit un plan de surveillance de l'environnement ●●●

1. Les 2 % restants s'évaporent pour refroidir les réacteurs.

Retracer le scénario d'une pollution

Avec le code de calcul Casteur*, il est possible de reconstituer le scénario d'une pollution en complément des mesures dans l'environnement. En cas de rejet accidentel, les données de la surveillance ne suffisent pas toujours pour estimer l'impact de l'événement. Le 8 juillet 2008 à Tricastin (vallée du Rhône), l'usine Socratris déversait de l'uranium dans la Gaffière, le cours d'eau qui traverse le site. Malgré un "trou" de plusieurs heures dans les mesures enregistrées par l'exploitant, Casteur a permis de retracer toute la chronologie du rejet à partir des mesures disponibles, de calculer son impact radiologique et d'en déduire l'absence de risque pour l'écosystème. L'outil, développé par l'IRSN, est utilisé pour des études d'impact et des exercices de crise en France et à l'international. ■

* Calcul Simplifié des Transferts dans les cours d'EAUX Récepteurs.

●●● autour de son site pour vérifier que, pendant toute la vie de la centrale, les rejets effectifs restent inférieurs aux maximums autorisés. L'IRSN peut être sollicité pour évaluer la pertinence du dispositif ou pour accompagner l'ASN lors d'inspections sur site.

Parallèlement, l'Institut déploie ses propres moyens de mesure sur le terrain, à commencer par son réseau d'hydrocollecteurs. *"L'objectif n'est pas de contrôler au sens strict l'exploitant mais d'acquérir des données indépendamment des moyens utilisés par ce dernier, sans redondance systématique. Il est rare que la confrontation des résultats fasse apparaître des écarts justifiant d'autres analyses"*, souligne Olivier Pierrard. D'autres acteurs contribuent ponctuellement à cette surveillance. C'est le cas de certaines Commissions locales d'information nucléaire (Clin), comme en témoigne Mathieu Estevao, responsable de celle de Paluel-Penly (Seine Maritime) : *"Le Département souhaitait établir l'état de santé radiologique de son territoire au moment où il était question de construire un réacteur EPR à Penly. Le plan de prélèvements dans l'environnement, élaboré par un laboratoire local avec l'appui de l'IRSN, a été lancé à l'été 2014 malgré l'abandon du projet industriel. Il inclut des analyses d'échantillons récoltés près des réacteurs existants, en vue de compléter les données déjà disponibles sur la région."*

La surveillance est renforcée en cas d'incident. Après l'événement de 2008 à Tricastin (Drôme) – seul cas de rejet accidentel survenu en France nécessitant une expertise sur de longues années (lire encadré p. 13) – l'IRSN a dressé pour le Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) un bilan de la qualité des eaux souterraines et superficielles près des sites nucléaires. *"Cette étude montre que la situation est connue sur la quasi-totalité du réseau fluvial, conclut Olivier Pierrard. Elle confirme que des dispositifs de surveillance efficaces sont mis en œuvre par l'ensemble des acteurs pour détecter un problème majeur de nature environnementale ou sanitaire."* ■

Quels risques représentent les rejets hospitaliers ?

Réseaux d'épuration. Les activités diagnostiques, thérapeutiques et de recherche des établissements de santé rejettent des radionucléides à vie courte. L'IRSN contribue à fiabiliser le contrôle de ces effluents spécifiques.



Arnaud Bouissou/MEDDE/IRSN

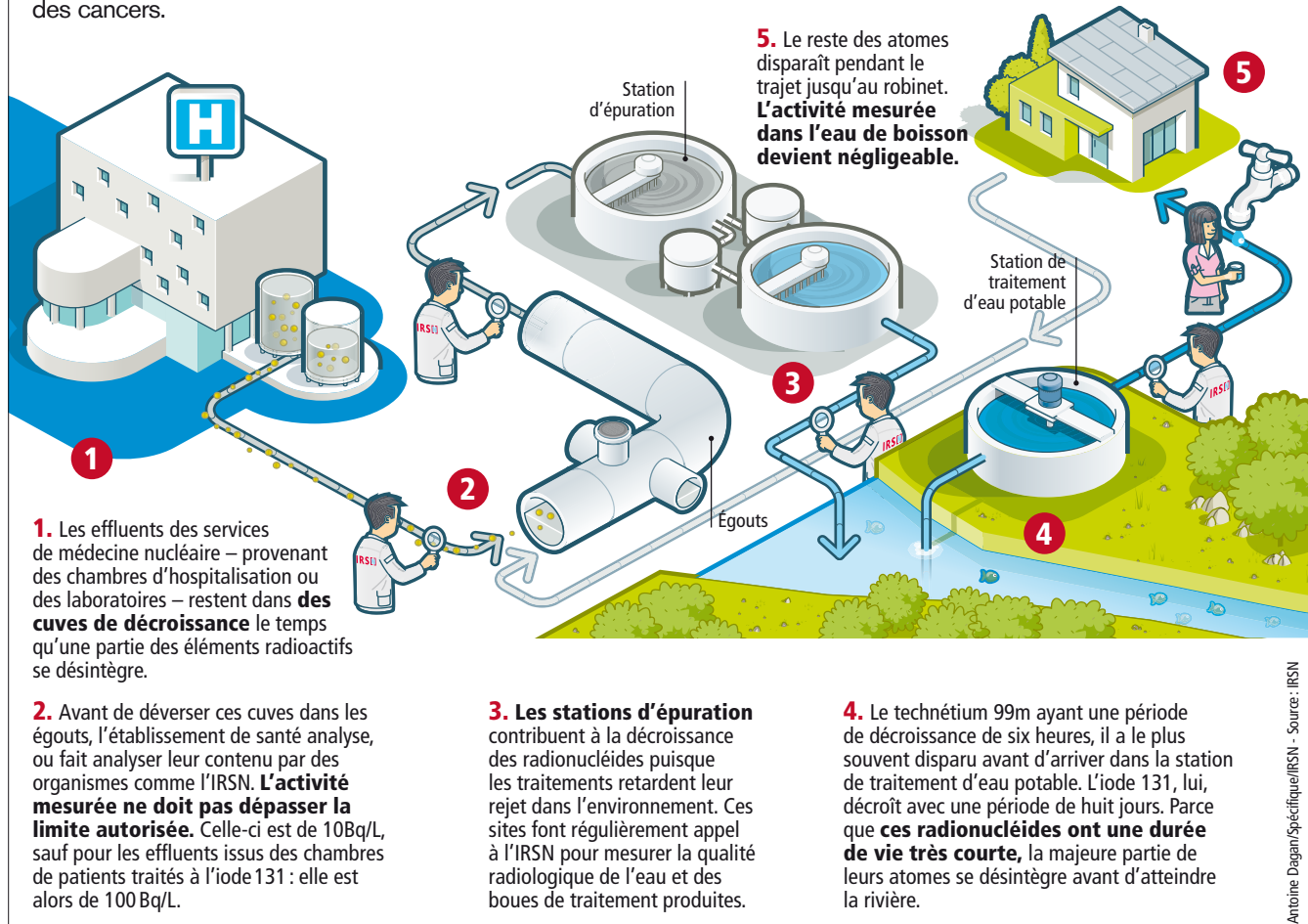
Dans les échantillons d'eaux usées prélevés en aval de centres hospitaliers abritant des services de médecine nucléaire, il est fréquent de mesurer de l'iode 131 ou du technétium 99 métastable.

Les rejets de médecine nucléaire se limitant à des radioéléments à vie courte, ils ont été très tôt jugés sans risque. Peu d'études détaillées étaient menées à ce sujet. Les choses ont changé ces dernières années", constate Alain Rannou, expert en radioprotection à l'IRSN. Comme tous les producteurs de déchets radioactifs, les établissements de santé utilisant des sources de rayonnements ionisants doivent gérer leurs rejets selon les meilleures règles de sûreté et de radioprotection. S'agissant des effluents liquides, seuls ceux contenant des éléments de période radioactive inférieure à 100 jours peuvent être rejetés dans les égouts. Cela limite en théorie la

présence d'activité dans les réseaux d'eaux usées, donc dans les cours d'eau. Mais les mesures réalisées depuis 20 ans par l'IRSN* mettent en évidence la présence quasi systématique d'iode 131 et de technétium 99 métastable dans les stations d'épuration des grandes agglomérations. *"Au-delà des effluents hospitaliers autorisés, une partie des rejets provient des patients traités en ambulatoire ou des sanitaires des services hospitaliers échappant aux circuits spécifiques, analyse Erwan Manach, ingénieur en télémessure dans l'environnement. L'iode 131, dont la période est de huit jours, et le technétium 99 métastable (six heures), représentent 90 % des rejets. On trouve en faibles proportions d'autres radioéléments comme*

De l'hôpital au verre d'eau, les radionucléides disparaissent

À l'entrée des stations d'épuration, il n'est pas rare de mesurer la présence d'iode 131 (^{131}I) ou de technétium 99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$), des radionucléides utilisés par les services de médecine nucléaire, en imagerie médicale ou pour traiter des cancers.



le thallium 201 (3 jours), l'iode 123 (13 heures) ou l'indium 111 (2,8 jours)." L'IRSN a développé des outils de calcul pour évaluer leur impact sanitaire. "Celui-ci est insignifiant pour la population susceptible d'être contaminée via les différents usages de l'eau, confirme Alain Rannou. Les éléments à vie courte ne s'accumulent pas dans l'environnement et la dilution est forte entre le point de rejet et l'Homme."

Pas de risque pour les égoutiers

La problématique diffère un peu pour les professionnels des réseaux d'assainissement, car les boues d'épuration concentrent la radioactivité, notamment l'iode 131. L'IRSN est régulièrement sollicité à la suite de déversements non autorisés d'effluents hospitaliers. Ces derniers ne

sont pas rares du fait du sous-dimensionnement des cuves de décroissance. Exemple : l'Institut de cancérologie Gustave Roussy de Villejuif (Val-de-Marne) a déclaré, en 2012 et 2013 auprès de l'Autorité de Sécurité Nucléaire (ASN), des vidanges volontaires d'effluents dont la concentration en iode 131 dépassait la valeur autorisée de 100 Bq/L. L'IRSN a conclu à l'absence de risque pour les agents du réseau d'assainissement. Une autre étude, menée à Nantes (Loire-Atlantique) en 2011 à la demande d'hôpitaux et du gestionnaire du réseau des eaux usées, confirme que les niveaux de contamination restent faibles. "La dose maximale annuelle reçue par les égoutiers nantais, calculée avec des hypothèses majorantes, s'élève à 0,13 mSv", précise Pascal

Bechard, personne compétente en radioprotection au Centre hospitalier universitaire de Nantes. "Un chiffre environ 20 fois inférieur à celui de l'exposition moyenne des français aux rayonnements d'origine naturelle ou à la dose reçue lors de soins médicaux." "Les rejets médicaux sont encadrés et globalement maîtrisés, indique Alain Rannou. Cela n'empêche pas de consolider les bonnes pratiques pour renforcer la fiabilité du dispositif." L'IRSN participe depuis 2013 à une réflexion nationale sur les effluents hospitaliers, aux côtés de l'ASN et des parties prenantes. ■

*Grâce au réseau de sondes de télémétrie en continu Hydrotéléray, déployé de 1999 à 2010 à l'entrée d'une dizaine de stations d'épuration de grandes agglomérations, et grâce à de nombreuses études réalisées avec des sondes mobiles depuis 2004.

La Seine réservait une surprise

Recherche. L'analyse des pollutions historiques emprisonnées dans les sédiments de la Seine a conduit à une découverte inattendue : des traces de plutonium vieilles de 40 ans. Les experts en ont trouvé la source et ont rétrospectivement conclu à une absence d'impact sanitaire.

A lors qu'ils participaient à une étude des polluants chimiques emprisonnés au fond de la Seine, les experts de l'IRSN ont eu une surprise : des traces de plutonium d'origine inconnue, à hauteur de Rouen (Seine-Maritime). Elles ne correspondent ni aux retombées des essais nucléaires atmosphériques des années 1950-1960, ni à celles de l'accident de Tchernobyl (Ukraine, 1986). Ce type de rejets n'avait pas été répertorié dans le passé.

Rien ne présageait une telle découverte. *"Dans la perspective d'aménagements portuaires susceptibles de remuer les sédiments dans l'estuaire, nous souhaitions avoir un état précis des polluants qui s'y étaient accumulés au cours des dernières décennies"*, raconte Cédric Fisson, chargé de mission au groupement d'intérêt public Seine-Aval, qui a cofinancé le programme avec la région Basse-Normandie. Comme l'analyse radiologique permet de dater les différentes couches d'une carotte sédimentaire, donc les polluants chimiques qui s'y trouvent, des experts de l'IRSN avaient été

invités à participer à cette reconstitution historique. En cherchant à identifier les radioéléments qui, par leur présence dans le lit du fleuve, pourraient servir de traceurs, ils ne s'attendaient pas à observer sur leurs spectromètres un "pic" de plutonium dans des dépôts datant du milieu des années 1970.

Un rejet datant de 1975

De par leur profondeur, leur concentration et leur nature (^{238}Pu), ces rejets ont pu être datés et reliés à un déversement accidentel, en 1975, de plutonium dans les eaux usées du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) de Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine). Les concentrations observées sont faibles. Par acquis de conscience, les spécialistes ont néanmoins vérifié que cela n'avait pas eu d'incidence sanitaire, à l'époque, sur les personnes

consommant l'eau de la Seine ou travaillant à son contact – notamment les égoutiers de la station d'épuration d'Achères (Yvelines), qui ont traité ces effluents. La puissance d'analyse des données radiologiques permet aujourd'hui de répondre à ces questions, même 40 ans après les faits. ■



Les carottes sédimentaires prélevées dans la Seine ont révélé un pic de plutonium 238, d'origine industrielle.



BIBLIOGRAPHIE

- **Bilan** de la surveillance et de la qualité des eaux à proximité des sites nucléaires, 2008 : www.eaufrance.fr/documents/bilan-de-la-surveillance-et-de-la
- **Synthèse de l'étude** du CHU de Nantes sur l'exposition des égoutiers aux rejets d'un service de médecine nucléaire, juin 2014 : www.sfrp.asso.fr/IMG/pdf/BECHARD_Pascal_resume.pdf
- **Directive 2013/51/Euratom** sur les eaux destinées à la consommation humaine : www.legifrance.gouv.fr

- **Avis de l'IRSN** sur la détection de concentrations anormales en plutonium dans les sédiments de la Seine : www.irsn.fr/pu-seine

POUR EN SAVOIR PLUS

- **Sur l'organisation de la surveillance** de l'environnement en France : www.irsn.fr/surveillance-env-france
- **Sur le RNM**, réseau national de mesures de la radioactivité dans l'environnement : www.mesure-radioactivite.fr

CONTACTS

- **Surveillance de l'environnement** : jean-christophe.gariel@irsn.fr
olivier.pierrard@irsn.fr
- **Constats radiologiques** : valerie.bruno@irsn.fr
- **Darpe** : michel.chartier@irsn.fr
- **Télémesure dans l'environnement** : erwan.manach@irsn.fr
- **Radioprotection de l'Homme** : alain.rannou@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
- **AVIS 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 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 microsievert par heure (1 $\mu\text{Sv}/\text{h}$) correspond à un débit de dose de 0,000001 Sv par heure.



DÉCRYPTAGE

Des précautions à chaque étape

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

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.



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.

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.

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.

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 du matériel (gammagraphe, radiamètre, dosimètres) et de l'intégrité des protections (gammagraphe) avant de se rendre sur site.



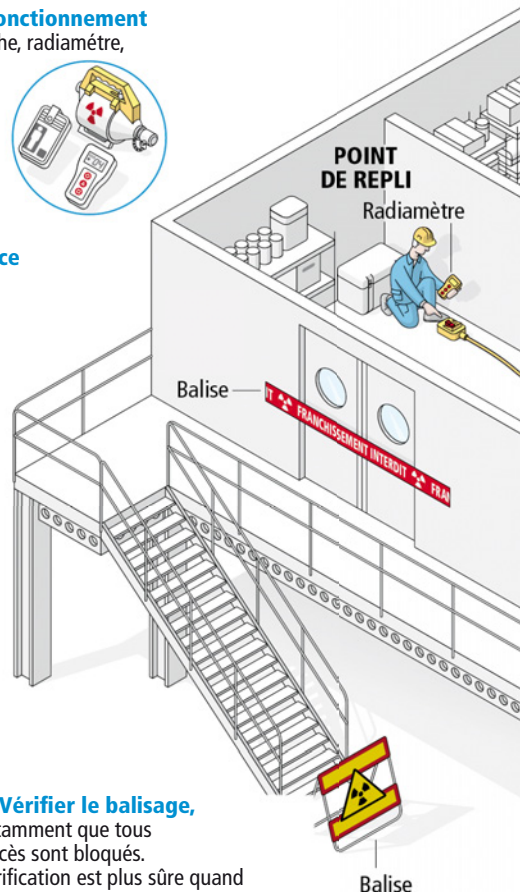
2 Signaler sa présence à l'accueil et l'objet de l'intervention, dès l'arrivée sur le site.



3 Mettre en place le balisage autour du gammagraphe et, si besoin, 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 chantiers "extérieurs", avec utilisation d'un gammagraphe mobile, 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.

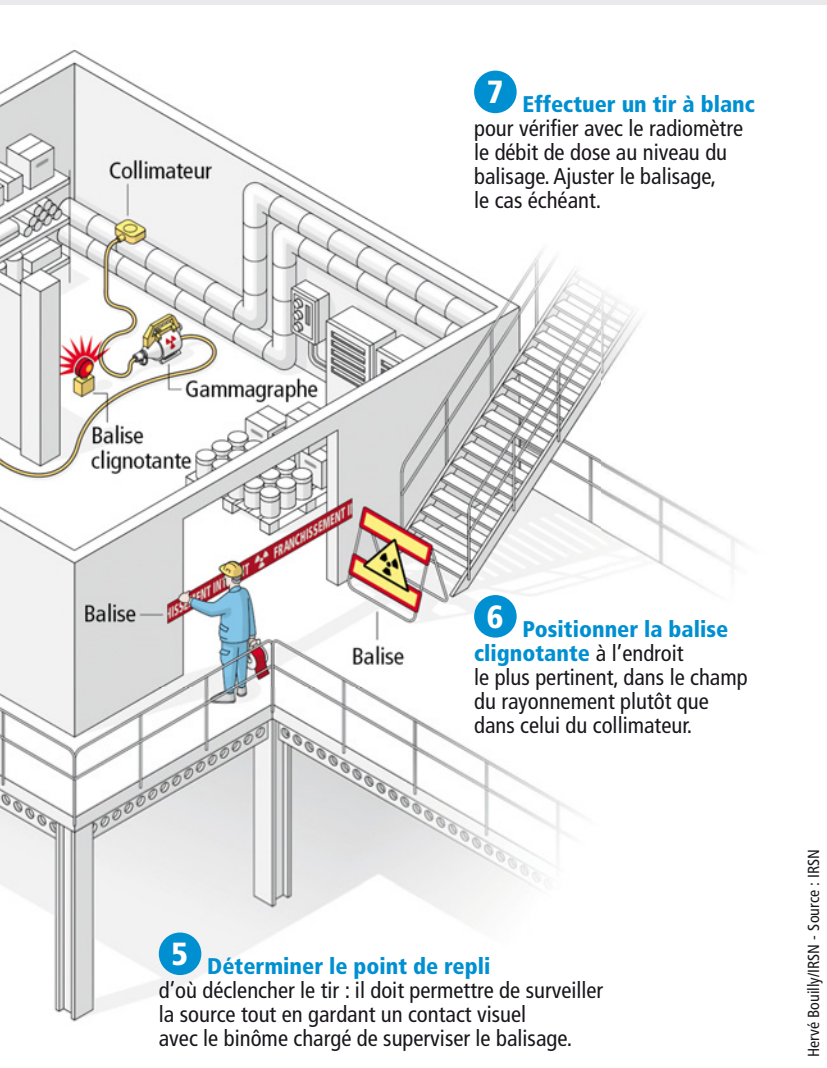
En chiffres

- **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 rayonnements gamma. Utilisée dans de nombreux secteurs

ration doit être balisée. C'est le fruit d'un important risques et répondre aux règles de radioprotection.



7 Effectuer un tir à blanc pour vérifier avec le radiomètre 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.

Hervé Bouilly/IRSN - Source : IRSN

de l'industrie (chaudronnerie industrielle, 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

Bénédicte Allenet-Le Page
Tél. : 01 58 35 91 28
benedicte.allenet-lepage@irsn.fr
ou camari@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. ” Personne compétente en radioprotection (PCR), Jean-Pierre Vidal insiste sur ce message auprès des radiologues industriels. Ces derniers sont formés à la radioprotection, leur compétence étant attestée par le certificat d'aptitude à manipuler les appareils de radiologie industrielle (Camari). Parmi les nombreux points abordés pour assurer la radioprotection des travailleurs, le zonage en gammagraphie industrielle est un élément clé. Jean-Pierre Vidal rapporte que la baisse de vigilance peut-être à l'origine d'incidents. 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. 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 Copitel/IRSN

Les élus sont-ils prêts à gérer le post-accident ?

Retour d'expériences. Comment gérer un territoire contaminé à la suite d'un accident nucléaire ? Comment s'y préparer ? Shoji Nishida, maire de Date, ville située à 60 km de Fukushima-Daiichi (Japon), et Jean-Pierre Charre, qui a administré une commune localisée à 3 km du site de Marcoule (Gard), partagent leurs expériences.

À RETENIR

- **Il est indispensable** pour les élus de se préparer à l'idée d'un accident nucléaire, même si de nombreuses mesures sont prises par les exploitants et les autorités pour l'éviter.
- **Être à 60 km** d'une centrale limite le risque mais ne l'exclut pas.
- **Des réflexions sur la gestion post-accidentelle** sont menées en France depuis une dizaine d'années. L'Association nationale des comités et commissions locales d'information (Anccli) et l'IRSN ont engagé une sensibilisation des acteurs locaux à cette question (*lire article p.9*).

En tant qu'élus de communes proches de sites nucléaires, avez-vous été préparés à la gestion post-accidentelle ?

Shoji Nishida : Avant l'accident de mars 2011 survenu à la centrale de Fukushima-Daiichi, nous n'avions eu aucune préparation. Les communes situées à proximité plus immédiate du site n'en avaient pas davantage. Elles ne disposaient même pas de programme d'évacuation. Avant la crise, l'État, la société Tepco et les maires japonais avaient convaincu les habitants en leur assurant que "les centrales à énergie atomique étaient absolument fiables". Des propos d'une absurdité totale. C'est un mythe, "le mythe de la parfaite sécurité", qui n'existe absolument nulle part dans le monde. Nous autres, nous y avons pourtant cru.

Au moment de l'accident, nous étions dans l'ignorance totale. Nous avons dû faire face. Après, nous n'avons reçu aucune instruction de notre préfecture ou du gouvernement central pendant très longtemps.

Jean-Pierre Charre : En France, pour les communes situées à moins de 10 km des centrales, la préparation essentielle repose sur le plan particulier d'intervention (PPI), lié aux risques technologiques*. Tous les élus concernés le connaissent et doivent le déclencher sur injonction de la préfecture. Notre dispositif réglementaire prévoit aussi un plan communal de sauvegarde dans lequel sont répertoriés tous les risques. Un volet nucléaire y figure pour la majorité des communes françaises concernées. Les maires doivent savoir reconnaître le signal sonore alertant d'un accident nucléaire, qu'il soit diffusé par les exploitants ou par la préfecture. Le plan fournit des instructions sur l'évacuation et l'accueil de la population, sur la mise en place de points de mesure de la radioactivité... Il donne aux élus une culture générale sur l'impact d'une contamination.

“ À force d'avancer le caractère non dangereux des installations nucléaires, nous avons dû faire face à l'accident sans aucune préparation. ”

Shoji Nishida

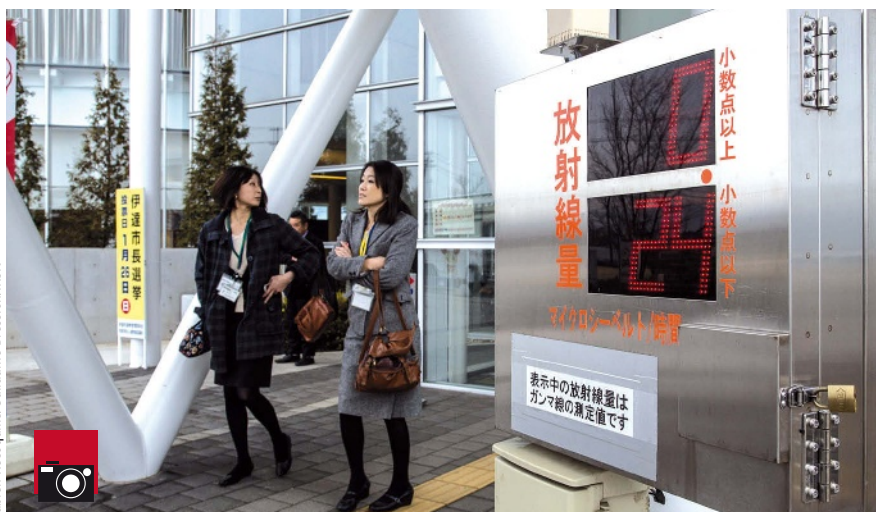
est le maire de Date, ville de 70000 habitants située à 60 km de la centrale de Fukushima-Daiichi, au Japon. Il occupait déjà ce poste le 11 mars 2011, jour de l'accident.

Monsieur Nishida, après l'accident de Fukushima, comment avez-vous réagi ?

S.N. : Nous avons appris la nouvelle par les journaux télévisés, alors que nous étions en train de gérer d'autres urgences. Nous essayions notamment de rétablir l'accès à l'eau potable qui avait été coupé



Fabien Recoquillé/Guillaume Bression/IRSN



Un appareil de mesure affiche en temps réel la radioactivité à l'entrée de la mairie de Date (Japon). Découvrez d'autres photos de la reconquête des territoires autour de Fukushima dans le webmagazine.

l'occasion du troisième anniversaire de l'accident, aura une valeur inestimable pour les autres pays. Ces documents sont consultables sur la page Internet de la ville de Date.

J.-P.C. : Fukushima a eu une grande influence auprès des élus français. En 2011, nous étions presque dans la même situation que les Japonais, même si une démarche de réflexion sur le post-accidentel commençait à s'engager. Aujourd'hui, nous pouvons parler de crise nucléaire. Avant, ce n'était pas possible. Une culture est en train de prendre forme. ■

* Au-delà du périmètre de 10 km, le niveau de préparation dépend de l'implication des acteurs locaux.

www Pour en savoir plus

- Lire l'article "Comment les élus anticipent les impacts d'un accident ?", en p.9
- Voir les vidéos du séminaire Ancli-IRSN sur le post-accidentel: www.irsn.fr/post-accident
- Visiter le site de la ville de Date (en japonais): www.city.date.fukushima.jp

À voir sur le webmagazine

La suite du débat en vidéos: "Comment gérer un territoire contaminé après un accident nucléaire?", "Les réactions de la population de Date"...

par le séisme. Celui-ci avait détruit plusieurs établissements scolaires et nous n'avions plus d'électricité. Lorsque nous avons su pour la centrale, nous pensions qu'être à 60 km du site nous protégeait du danger nucléaire. Nous avons commencé à accueillir des réfugiés. Deux semaines plus tard, le système de surveillance de la radioactivité nous a alertés : à cause des chutes de neige, les rejets étaient retombés sur les sols, notre commune avait été contaminée. Cela a été le début de la panique. Nous avons commencé à nous renseigner, à visiter des sites Internet sur l'accident de Tchernobyl (Ukraine)... Nous avons aussi dû apprendre le terme de décontamination. Mais nous n'avions aucun instrument de mesure de la radioactivité. Nous ignorions les unités de mesure. C'était un vrai tâtonnement. Avec les moyens du bord, nous avons procédé aux opérations de décontamination, étape par étape.

Quelles leçons tirez-vous des différents accidents nucléaires ?

S.N. : Au moment de la catastrophe, nous n'étions pas préparés, nous n'avions rien appris de Tchernobyl! Aujourd'hui, trois ans et demi après Fukushima, nous avons plus ou moins décontaminé notre territoire. Mais, pendant toute cette période, nous ne pouvions avancer que par approximations successives, qui n'ont pas pu nous éviter de faire des erreurs. J'insiste sur l'importance de l'analyse des séquences que nous avons vécues au cours de cette phase post-accidentelle. Ce retour d'expérience, que nous avons documenté à

“ En France, les plans post-accidentels sont pensés par les préfetures. Il faut aller au-delà et associer la population et tous les acteurs locaux. ”

Les élus français sont-ils davantage préparés au post-accident ?

J.-P.C. : Nous sommes prêts à gérer la phase d'urgence. Nous saurions quoi faire dans les 24 heures qui suivent une explosion ou une contamination. Mais pour la suite, nous pêchons encore. Nous ne savons pas comment gérer un territoire contaminé.

Jean-Pierre Charre

est vice-président de l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (Ancli), qui informe sur la sûreté nucléaire. Il a administré Orsan, village localisé à 3 km du site de Marcoule (Gard) et à 20 km de la centrale de Tricastin (Drôme).



Photos du débat : Florence Levillain/Signatures/IRSN

Faire avancer la sûreté et la radioprotection par les normes

Expertise. Les normes sont aussi des outils d'amélioration de la sûreté et de la radioprotection. Les experts participent à l'élaboration de ces documents de référence dans leurs domaines de compétence, à l'échelle nationale et internationale.



Stéphanie Jayer/EDF

L'expertise de l'IRSN en matière de contrôle-commande intéresse les organismes de normalisation.

L'électronique et le numérique sont omniprésents dans une centrale. Pour garantir leur fiabilité, il est important de s'accorder sur des normes de conception et d'exploitation. *“En 2012, nous avons réussi à développer une norme internationale¹ sur l'utilisation de composants électroniques complexes programmés dans les systèmes de sûreté des réacteurs”*, témoigne Jean-Paul Bouard, secrétaire du sous-comité de la Commission électrotechnique internationale (CEI, ou IEC en anglais) en charge des travaux de normalisation sur les systèmes électriques, d'instrumentation et de contrôle-commande des installations nucléaires.

Lignes directrices pour l'évaluation du risque incendie

Les spécialistes de l'Institut participent aux instances où se construisent les principes de sûreté et de radiopro-

tection. Ils interviennent dans les institutions qui proposent des principes fondamentaux de protection – comme la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) – ou qui définissent des guides pré-réglementaires – comme l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) ou la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom). Ils sont actifs dans des organismes tels que l'Organisation internationale de normalisation (ISO), l'IEC ou le Comité européen de normalisation en électronique et en électrotechnique (Cenelec). L'objectif est d'élaborer des spécifications applicables sur le terrain à des produits, des matériels, des processus ou des services, pour améliorer qualité et fiabilité, synonymes de gains en sûreté et radioprotection.

Par exemple, l'Institut joue un rôle moteur, au sein de l'ISO, dans la construction des standards de sûreté en ingénierie de la sécurité incendie.

Parmi les résultats de ces travaux, on peut citer les normes “Lignes directrices pour l'évaluation du risque incendie”² et “Évaluation, vérification et validation des méthodes de calcul”³. Elles s'appliquent aujourd'hui à tous les scénarios de feux dans les installations nucléaires et dans d'autres sites industriels.

De la sûreté nucléaire à la sécurité aéronautique

Les normes sur lesquelles travaillent les experts de l'IRSN peuvent bénéficier à la sécurité industrielle au-delà du nucléaire. *“Nous nous rencontrons entre experts du contrôle-commande de différentes filières confrontées à des enjeux de sûreté, comme l'aéronautique, le ferroviaire ou l'automobile. Nous échangeons sur les bonnes pratiques, formalisées dans nos travaux de normalisation respectifs*, précise Jean Gassino, ingénieur à l'Institut. *La norme sur les compo-*



Grégoire Maisonneuve/IRSN

Le dosimètre cristallin de l'IRSN est conforme à la norme IEC 62387:2012-12, établie avec le concours d'experts de l'Institut.

sants électroniques complexes programmés dans les centrales a été très vite référencée dans les documents de l'AIEA. Elle est aujourd'hui citée par les autorités de sûreté de plusieurs pays et elle a été utilisée dans des projets industriels." ■

1. IEC 62566:2012
2. ISO/TS 16732:2005
3. ISO/TR 17630-3:2013



Pour en savoir plus

- sur les normes ISO : www.iso.org/iso/fr/home.htm
- sur celles de l'IEC : www.iec.ch

L'expertise au service des normes

Présentation de quelques travaux de normalisation ayant bénéficié de l'expertise de l'IRSN en sûreté et radioprotection.

L'instrumentation pour la radioprotection

Au sein de la Commission électrotechnique internationale, Miroslav Voytchev, spécialiste des équipements de mesure de radiations à l'IRSN, a supervisé le développement d'une cinquantaine de normes concernant des instruments pour la radioprotection depuis 2006. Il en a directement rédigé deux : l'une spécifie les exigences de performance et de contrôle des "Dispositifs individuels d'alarme aux rayonnements pour la détection du trafic illicite des matières radioactives" (IEC 62401:2007); l'autre porte sur les "Équipements de signalisation des accidents de criticité" (IEC 60860 2^e éd.:2014).

Normaliser les protocoles de dosimétrie

Dans le cadre de l'ISO, Alain Rannou, expert en radioprotection de l'homme à l'Institut, est à l'origine de la création, en 2000, d'un groupe de travail sur la dosimétrie des personnels navigants de l'aviation civile exposés aux rayonnements cosmiques. Cela a conduit à l'élaboration de standards pour les instruments de mesure (ISO 20785-1, 2^e éd.:2012 et ISO 20785-2:2011). Ils font partie de la "boîte à outils" utile pour l'application de la directive européenne 2013/59/Euratom, sur les normes de base en radioprotection.

Un autre comité de cette organisation, présidé par Alain Rannou, a initié les premiers travaux de normalisation dans le domaine de la dosimétrie et des protocoles associés dans les applications médicales : "Dosimétrie clinique - Sources de radiation bêta pour curiethérapie" (ISO 21439:2009) et "Dosimétrie avec détecteurs de thermoluminescence solides pour les photons et les rayonnements d'électrons en radiothérapie" (ISO 28057:2014). ■

3 questions à...

Jacques Repussard

Directeur général de l'IRSN

Quel est l'enjeu des normes internationales dans le nucléaire ?

Dans ce secteur comme dans d'autres, l'harmonisation des normes favorise la maîtrise des coûts, la cohésion et la maîtrise de la qualité dans la filière industrielle et l'ouverture des marchés. L'industrie nucléaire française s'est développée à l'abri des frontières. Aujourd'hui son avenir se joue aussi à l'international et une revue stratégique de son approche normative pourrait se révéler payante à terme.

Où se situe la "plus-value" de l'IRSN ?

Les normes doivent aussi contribuer à faire avancer la sûreté et la radioprotection. C'est possible, sans conflit avec la logique industrielle, à

condition d'y faire contribuer une expertise de haut niveau. C'est la stratégie suivie par l'Institut. Il s'est fortement engagé dans des domaines à enjeu majeur : systèmes de contrôle-commande informatisés, systèmes électriques complexes, protection des sources radioactives, dosimétrie. L'Institut s'est fortement impliqué dans l'émergence d'une stratégie normative européenne, adossée au système international ISO/IEC.

Qu'attendre de l'harmonisation européenne imposée par la nouvelle directive Euratom 2013/59, sur les normes de base en radioprotection ?

Si la sûreté des centrales est l'affaire de chaque exploitant et autorité nationale, elle est désormais encadrée par une directive européenne.

En cas d'accident majeur, les rejets ne s'arrêteront pas aux frontières. Cela plaide pour qu'un effort normatif volontaire européen soutienne un dispositif législatif qui définit les objectifs de sûreté à atteindre, mais se garde à juste titre d'en fixer les moyens.

Il doit être obtenu par un consensus large sur un ensemble de caractéristiques techniques et de critères de qualité harmonieux. L'appareil de normalisation européen a été conçu dans cet esprit, pour faciliter l'émergence d'un marché intérieur protecteur des intérêts de toutes les parties prenantes. Il serait dommage que le nucléaire européen ne puisse en tirer parti, en termes de sûreté et de compétitivité.



Michaël Palm/IRSN

Forez sans fissurer



Industriels des secteurs nucléaire, minier ou BTP, le nouveau procédé de forage de grand diamètre développé par l'IRSN peut vous intéresser. Contrairement aux dispositifs classiques, celui-ci ne modifie pas les caractéristiques mécaniques du matériau foré. Il permet des forages de 40 à 70 cm de diamètre, sur plusieurs dizaines de mètres de profondeur. L'IRSN l'a mis au point pour ses besoins d'études géotechniques,

dans le cadre du projet de stockage de déchets radioactifs en profondeur. D'autres usages sont possibles – en prospection minière, pétrolière ou dans le BTP par exemple. L'Institut recherche des partenaires industriels intéressés par l'exploitation du brevet n°FR2974141 concernant ce procédé.

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Enhancing Nuclear Safety**

Pour en savoir plus

Service de la prospective,
de l'information, de l'innovation
et des connaissances

Tél. 01 58 35 81 73

E-mail : isabelle.guyot@irsn.fr