

# Repères

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

**N°30**  
juillet 2016

## **FUKUSHIMA**

L'impact sanitaire  
d'une catastrophe

## **ARCHIVES SÉDIMENTAIRES**

Confirmer des rejets  
de plutonium dans la Loire

## **Agressions naturelles**

# Mieux protéger la source froide



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

## Les incidences de Fukushima en France



Cinq ans après Fukushima, des vidéos thématiques expliquent les enseignements que l'IRSN a tiré de cet accident. Thierry Charles, expert en sûreté nucléaire, précise que "c'est la première fois qu'une agression naturelle – séisme, suivi d'un tsunami – a dévasté l'ensemble d'un site nucléaire". Il évoque la mise en place dans les centrales en France d'un "noyau dur de dispositions organisationnelles et matérielles afin de prévenir un accident de fusion du cœur ou en limiter la progression". Cet événement a modifié certaines priorités de recherche de l'IRSN : la perte de refroidissement, la limitation des rejets ou le code de calcul d'accident.

Autre exemple : Jérôme Joly, expert en radioprotection, met en avant l'influence de Fukushima sur la gestion de l'information. Les enjeux sont importants, dans la phase post-accidentelle, "qui demande à trouver un nouveau mode de fonctionnement socialement acceptable". Comment impliquer les acteurs économiques et la société civile, favoriser les projets de vie individuels ? Pour Jérôme Joly, "il faut redonner aux gens la possibilité de faire des choix les plus étayés possibles".

Les vidéos sont consultables en français et en anglais.

[www.irsn.fr/F16-video](http://www.irsn.fr/F16-video)  
et [www.irsn.fr/F16-video-EN](http://www.irsn.fr/F16-video-EN)



## Une exposition pour comprendre la radioactivité

Du 10 au 14 octobre, venez dialoguer avec les experts de l'IRSN à la Vieille Charité, à Marseille (Bouches-du-Rhône), et au Lycée Comte de Foix en Andorre, à l'occasion de la Fête de la science, autour de questions très concrètes : quels sont les effets de la radioactivité sur le corps ? Comment fonctionne une centrale ? Aujourd'hui, où sont les déchets ? La manifestation itinérante "Radioactivité, des centaines de questions, une exposition" informe et développe la culture du risque auprès du public et des scolaires à partir de la troisième.

Composée de panneaux, de vidéos et de contenus multimédias, l'exposition intègre des ateliers interactifs et plusieurs jeux éducatifs. Elle a été créée par l'Institut et l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

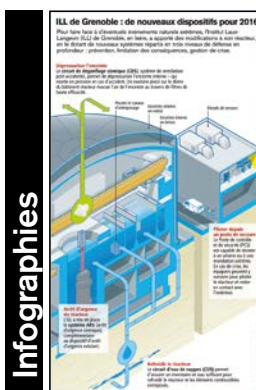
[www.irsn.fr/Expo-chooz-2016](http://www.irsn.fr/Expo-chooz-2016)



## Découvrez le portail [mondosimetre.irsn.fr](http://mondosimetre.irsn.fr) en images

Comment commander un dosimètre via le portail, disposer des informations détaillées sur les porteurs ? La vidéo vous fait découvrir pas à pas les fonctions du site de gestion en ligne. Vous découvrez comment utiliser les options : supprimer ou ajouter un dosimètre, modifier la fiche du porteur, afficher et exporter les statistiques. La vidéo vous informe des fonctions prochainement disponibles : gestion des alertes personnalisées, bilans statistiques/dosimétriques, gestion électronique des documents, synthèse des porteurs. Rendez-vous sur la chaîne YouTube de l'IRSN.

<https://youtu.be/oTE8-ZS4RIE>



## Comment vous procurer une infographie de Repères ?

Vous êtes intéressé par une infographie parue dans le magazine *Repères* ? "Comment bien dimensionner un bunker de radiothérapie ?" (*Repères* 26), "ILL de Grenoble : de nouveaux dispositifs pour 2016" (*Repères* 28) ou "Quelles sont les principales missions des PCR ?" (*Repères* 26) ? Vous souhaitez l'utiliser pour vos besoins de formation ou d'information ?

Vous pouvez les obtenir gratuitement en adressant un e-mail à : [irsn.mediathèque@irsn.fr](mailto:irsn.mediathèque@irsn.fr).

Elles vous seront transmises dans un délai de deux jours.

Pour rappel, sur [www.irsn.fr/reperes](http://www.irsn.fr/reperes), vous pouvez consulter le webmagazine enrichi de vidéos, de diaporamas et d'articles complémentaires. Il est possible de télécharger le format pdf du périodique.

[irsn.mediathèque@irsn.fr](mailto:irsn.mediathèque@irsn.fr)



# Sommaire

En couverture : les experts de l'IRSN accompagnés des équipes d'EDF sur la drôme flottante. Ce barrage protège le canal d'aménée de la centrale de Cruas (Ardèche) – à droite sur l'image – en arrêtant les gros colmatants charriés par le Rhône – à gauche. *Credit photo : Noak/Le Bar Floréal/IRSN*

## INTÉRÊT PUBLIC | 9

**Surveillance environnementale : plus proche des préoccupations locales grâce à la concertation**

## EN PRATIQUE | 17

**Confirmer des rejets anciens de plutonium dans la Loire grâce aux archives sédimentaires**

## EN DÉBAT | 20

**Les citoyens mesurent eux-mêmes la radioactivité**

## STRATÉGIE | 22

**Une filière Experts pour pérenniser les savoirs**

## TEMPS FORTS | 4

**Faut-il faire évoluer la gestion des déchets de très faible activité ?**

**Tomosynthèse : l'IRSN recommande des contrôles de qualité des appareils**

## FAITS & PERSPECTIVES | 6

**Fukushima, l'impact sanitaire d'une catastrophe**

Dossier du prochain numéro de *Repères* (octobre 2016)

**Quelles solutions pour la gestion des sites et sols pollués par la radioactivité ?**



## Édito

### La culture du risque, une priorité pour tous

L'Institut poursuit ses actions pour informer le public, les professionnels et les parties prenantes. Ainsi, dans un contexte de prolongation de l'exploitation des réacteurs au-delà de quarante ans, de réexamens de sûreté, de construction de nouvelles installations, l'IRSN renforce la transparence et la participation sur la sûreté nucléaire, la radioprotection et la gestion du risque. Tous les avis\* sont publiés bimensuellement sur le site [www.irsn.fr](http://www.irsn.fr), conformément à la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte.

Par ailleurs, l'IRSN entend poursuivre son engagement auprès de l'ANCCLI\*\*, sur les sujets complexes à fort enjeu et développer les initiatives impliquant la société civile. Ce magazine *Repères* y contribue. L'enquête de lectorat, à laquelle vous avez répondu nombreux, montre que c'est pour vous un support adapté d'information et de connaissance. Vous y recherchez le traitement pédagogique de sujets complexes sur la radioprotection et la sûreté nucléaire.

\* hors ceux relevant de la défense

\*\* Association nationale des comités et commissions locales d'information

**Jean-Christophe Niel**,  
directeur général  
de l'IRSN



© Antoine DEVOUARD/IRSN

Vidéos



Photos



Sons



Articles



Prolonger la lecture de *Repères* avec le webmagazine sur [www.irsn.fr](http://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](http://www.irsn.fr) – Courriel : [reperes@irsn.fr](mailto:reperes@irsn.fr)  
– Directeur de la publication : Jean-Christophe Niel – Directrice de la rédaction : Marie-Pierre Bigot – Rédactrice en chef : Catherine Roulleau – Assistante de rédaction : Isabelle Cussinet – Comité de lecture : François Bréchignac, Georges Henri Mouton – Rédaction et réalisation : Spécifique – Iconographie : Guillaume Krebs – Infographies : Antoine Dagan/Spécifique – Impression : Galaxy (72) – Imprimé sur Cyclus print – ISSN : 2103-3811 (imprimé) / 2491-8776 (en ligne) – juillet 2016.

## Tomosynthèse

### L'IRSN recommande des contrôles de qualité

"Comme l'indique l'IRSN dans son rapport, il est indispensable de mettre en place des contrôles de qualité élargis sur la tomosynthèse, technique émergente d'imagerie du sein. Son travail bibliographique a montré que l'essentiel des études cliniques ne porte que sur un système de marque d'appareils. Or il existe une grande variété de choix techniques pour la conception et les paramètres retenus par les fabricants", souligne Alain Noël, physicien médical et enseignant-chercheur au Cran<sup>1</sup>. Cet état de l'art porte sur la conception des installations, la dose reçue par les patientes, la qualité de l'image et le contrôle de qualité. L'Institut a formulé plusieurs recommandations pour accompagner la diffusion de ce nouvel examen en France. "Organisme indépendant reconnu pour sa compétence en radioprotection, l'IRSN vient appuyer l'avis des cliniciens et devrait faire bouger les choses", précise Luc Ceugnart, du Centre régional de lutte contre le cancer Oscar Lambret à Lille (Nord). Les experts préconisent que les contrôles prennent en compte l'utilisation de cette technique dans le cadre éventuel du dépistage organisé du cancer du sein, le dépistage individuel et le suivi des patientes. La dose délivrée lors d'une tomosynthèse peut dépasser les critères d'acceptabilité définis pour la mammographie conventionnelle 2D. "La recommandation d'analyser le rapport bénéfice/risque est importante, sachant qu'aujourd'hui cette nouvelle technique n'évite pas une mammographie<sup>2</sup> : la patiente reçoit donc deux fois des doses", conclut Alain Noël.

1. Centre de recherche en automatique de Nancy (Meurthe-et-Moselle)
2. Dose reçue pour une mammographie : inférieure à 2 mGy pour un sein d'épaisseur standard; pour une tomosynthèse : augmentation de la dose de l'ordre de 10 à 30% par rapport à une mammographie.



Pour en savoir plus  
[www.irsn.fr/tomosynthese](http://www.irsn.fr/tomosynthese)



DIRIGE Healthcare

La tomosynthèse évite l'effet de brouillage lié à la superposition des tissus que ne peut résoudre la mammographie 2D.



Denise P. Lett/Dreamstime.com

Les déchets TFA, dont la radioactivité est inférieure à 100 Bq/g, sont issus des installations nucléaires – en fonctionnement ou en démantèlement –, des industries classiques utilisant la radioactivité et de l'assainissement de sites pollués.

## Démantèlement

# Faut-il faire évoluer la gestion des déchets de très faible activité ?

Comment gérer de manière durable l'important volume de déchets radioactifs de très faible activité (TFA) qui sera issu du démantèlement des installations nucléaires? Alors que de vastes programmes dans ce domaine seront mis en œuvre dans les prochaines décennies, le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) de l'Andra<sup>1</sup> sera saturé à court terme. Il constitue l'exutoire unique en France pour ce type de déchets.

Il convient d'examiner leur gestion actuelle sous différents angles: méthodologies techniques pour caractériser les risques radiologiques et conventionnels associés aux modes de gestion; définition des filières d'élimination et des exigences liées à leur mise en œuvre.

### Valoriser, diversifier et limiter

Trois questions devraient faire l'objet de cette réflexion. Comment mieux valoriser les matériaux? Il faudrait étudier celles des bétons – sous forme de gravés<sup>2</sup> – et des métaux: ferraille ou recyclage par refonte.

Comment diversifier les modes de stockage? Ces déchets ayant un très faible niveau d'activité, il conviendrait

de se pencher sur la faisabilité pour les stocker sur site ou dans des filières conventionnelles. Ceci en respectant la séparation des rôles entre producteur et stockeur.

Comment limiter leur production? Il faut examiner la mise en œuvre de la politique de déclasserment du zonage nucléaire lors des démantèlements. L'autre solution consiste en "l'assainissement poussé" des sites et des bâtiments, proposé par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) dans le cadre de l'évolution de la doctrine.

### Concertation nécessaire de la société civile

Pour l'IRSN, la société civile doit être associée à la décision sur les orientations à prendre. Il faut créer les conditions du débat sur les doctrines de gestion. Ceci pour instruire avec elle les voies à explorer. ■

1. Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs
2. Une grave est un granulat composé d'un mélange de sable et de gravillons.



Pour en savoir plus  
 • [www.irsn.fr/dechets-TFA](http://www.irsn.fr/dechets-TFA)  
 • Projets des guides n°14 et 24:  
[www.asn.fr](http://www.asn.fr) Réglementer >  
 Consultations du public > Archives des consultations du public

Visites décennales

# Conformité et amélioration de la sûreté des réacteurs de 900 MWe

Les réacteurs nucléaires d'une puissance de 900 MWe entament leur quatrième visite décennale dans trois ans. Les experts ont examiné les orientations proposées par EDF à l'aune des objectifs fixés par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) : vérification et maîtrise de la conformité des installations, en tenant compte du vieillissement, et amélioration de la sûreté, en visant à se rapprocher des objectifs de sûreté fixés pour le réacteur de troisième génération EPR (Evolutionary Pressurized Reactor) de Flamanville, dans la Manche.

"L'Institut a souligné que l'exploitant devait renforcer son contrôle de

conformité et compléter l'étude des accidents sur certains points", précise Isabelle Miramon, experte en sûreté.

Il a relevé des avancées pour "améliorer la robustesse des installations aux agressions externes extrêmes - inondations, séismes, etc. - et aux situations accidentelles. Le réexamen de sûreté sera l'occasion d'achever l'intégration des modifications post-Fukushima et d'améliorer la maîtrise des conséquences des accidents avec fusion du cœur", relève Isabelle Miramon.

Avant la première visite décennale prévue en 2019 à la centrale du Tricastin (Drôme), l'Institut examinera



Noak/Le Bar Floreal/IRSN

La quatrième visite décennale concerne 34 réacteurs.

les études de l'exploitant et évoquera ses conclusions à l'occasion de réunions du groupe permanent pour les réacteurs nucléaires. Lors d'un premier rendez-vous fin 2016, l'IRSN présentera son expertise relative au management par EDF de la conformité des installations. ■

www Pour en savoir plus  
www.irsn.fr/VD4-900

Parc nucléaire

# Les équipements électriques de sûreté passent à la norme unique

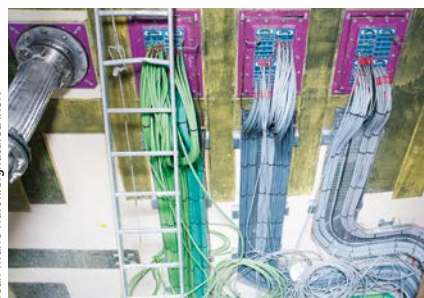
Les autorités, les exploitants et les fournisseurs des grands pays nucléaires ont adopté en février la norme unique internationale IEC/IEEE 60780-323. C'est un grand pas pour la sûreté", souligne Anh Brossier, spécialiste des équipements électriques à la division Ingénierie nucléaire d'EDF.

Elle permet un meilleur encadrement des pratiques de qualification des équipements électriques importants pour la sûreté : armoires de contrôle, disjoncteurs, électroaimants, instrumentation... Les

essais de vieillissement et leur analyse doivent prendre en compte les enseignements tirés des expérimentations réalisées sur les matériels thermo et radiosensibles.

"Si un exploitant veut prolonger la durée d'utilisation d'un équipement électrique, il doit désormais décider de la méthode et définir les prélèvements à effectuer, les modalités d'essais, leur sévérité et les critères d'acceptation", précise Karim Hamidi-Georges, spécialiste des équipements électriques à l'Institut.

Cette norme est éditée par la Commission électrotechnique internationale (IEC) et l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), les deux principales organisations mondiales de normalisation électrique. L'IRSN a copiloté le groupe de travail : rédaction des documents, élaboration des consensus techniques et soutenance devant les deux instances. ■



Jean-Marie Huron/Signatures/IRSN

Les méthodes d'extension de la durée de vie des équipements électriques sont mieux encadrées.

www Pour en savoir plus  
www.afnor.org

Radiothérapie

## Comprendre la mise en place des contrôles

"Dans notre service, nous disposons d'accélérateurs de particules récents pour des traitements spécifiques comme la radiothérapie stéréotaxique hypofractionnée<sup>1</sup>, indique Catherine Jenny, chef de l'unité de physique de l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, à Paris. Lors de leur mise en service, nous établissons un programme de contrôle de qualité. Les réglementations existantes<sup>2</sup> correspondent à des accélérateurs standards. Nous devons les adapter pour assurer la sécurité des traitements." Cette unité a conclu un partenariat avec le laboratoire de recherche en sciences humaines et sociales de l'IRSN. Objectif : mieux comprendre comment les médecins établissent ces contrôles. En 2016, à l'occasion de la mise en place d'un nouvel équipement, des données ont été recueillies et des interviews de professionnels réalisées : physiciens, dosimétristes, etc. Des premiers résultats seront présentés en octobre à Toulouse, lors du congrès Healthcare Systems Ergonomics and Patient Safety (HEPS), qui rassemble des ergonomes spécialisés dans le domaine hospitalier et des chercheurs.

1. Radiothérapie de haute précision à dose d'irradiation élevée et concentrée
2. Décision de 2007, Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé



# Fukushima, l'impact sanitaire d'une catastrophe

**Surveillance sanitaire.** Cinq ans après l'accident, les études sur la santé des personnes exposées aux rejets de Fukushima révèlent que les déplacements des populations auraient, pour le moment, plus d'impacts psychosociaux et sanitaires que les rayonnements.

Un séisme, un tsunami, un accident nucléaire, suivis d'une évacuation, ou non, puis d'un retour, ou non. Ce qu'ont subi les habitants de la région et les travailleurs de la centrale de Fukushima-Daiichi depuis cinq ans revêt de multiples facettes. À ce stade, on ne peut ni affirmer, ni réfuter l'apparition de cancers radio-induits à l'heure actuelle ou dans les prochaines années.

Les doses reçues par les personnes ayant séjourné dans la province pendant les quatre mois suivant l'accident ont été estimées à l'aide d'un questionnaire "Basic Survey".

## Suivi thyroïdien des enfants

Les autorités japonaises ont mis en place un dépistage des cancers de la thyroïde chez les enfants. Cette glande endocrine, située à la base du cou, fixe l'iode radioactif rejeté lors d'un accident nucléaire. Les plus jeunes – dont la thyroïde est en

pleine croissance – sont davantage sensibles à cette contamination. Cette pathologie avait augmenté de manière significative dans la région de Tchernobyl (*lire encadré p. 8*).

De 2011 à 2014, 300 000 enfants japonais – sur quelque 360 000 présents dans la préfecture de Fukushima au moment de l'accident – ont bénéficié d'une échographie de la thyroïde. Des analyses biologiques et des ponctions (biopsies) en cas d'anomalie détectée ont ensuite été prescrites : 99 cas ont été diagnostiqués, opérés et confirmés. Cela correspond à une incidence de 11 cas pour 100 000 enfants par an. Ce chiffre est similaire aux observations lors de dépistages dans des zones non touchées par les retombées de l'accident. Il constitue une référence.

À mi-chemin de la deuxième campagne, 39 cas suspects ont été identifiés, dont 15 déjà opérés et confirmés. L'occurrence est

comprise entre 6 et 15 pour 100 000. Aucun effet ne peut pour le moment être attribué avec certitude aux rayonnements.

Ce type de pathologie peut se déclarer des années après l'exposition. Des bilans thyroïdiens seront réalisés tous les deux ans jusqu'à ce que les enfants aient atteint l'âge de 20 ans, puis tous les cinq ans au-delà. Les conclusions de ces prochaines campagnes seront déterminantes pour évoquer un lien éventuel avec la catastrophe.

## Les femmes enceintes au moment de l'accident

Autre population qui bénéficie d'un suivi spécifique : les femmes enceintes au moment de l'accident, ou qui ont déclaré une grossesse depuis.

Selon un rapport de l'Université médicale de Fukushima (FMU), l'année de l'accident, de légères hausses des avortements pour les grossesses déclarées entre août 2010 et juillet 2011 (+0,02%) et des prématurités (+0,99%) ont été enregistrées. Les chiffres semblent se normaliser l'année suivante, pour les grossesses déclarées entre août 2011 et juillet 2012.

Le taux de malformations n'a pas montré d'augmentation par



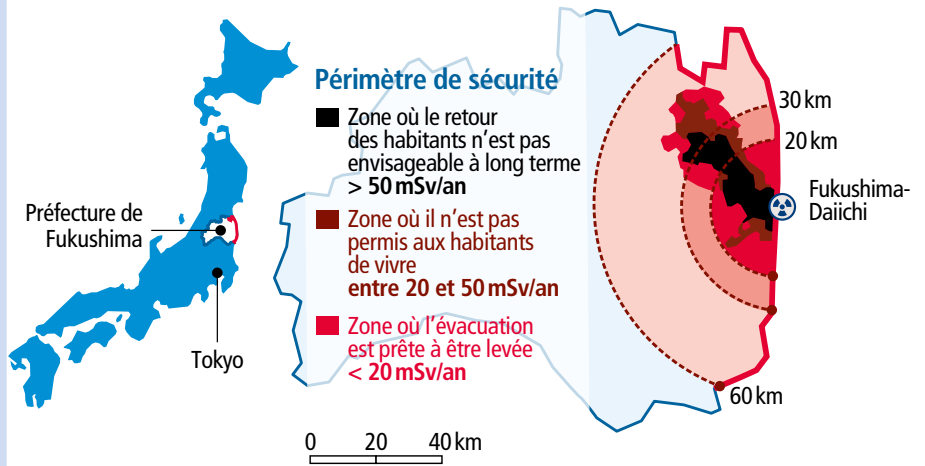
3 Thomas Hurut

1. Le BabyScan est utilisé pour mesurer la contamination des enfants dans la région de Fukushima. 2. Un moniteur de rayonnement indique le nombre de microsieverts par heure à proximité du réacteur. 4. 3. L'association Tsunagu Kai vient en aide aux habitants d'un campement temporaire : distribution de vêtements, suivi médical...

# Fukushima et santé

Quelles sont les conséquences sanitaires de l'accident de Fukushima-Daiichi ? Les évaluations de dose issues des enquêtes épidémiologiques ne concluent, à ce stade, à aucun effet radio-induit sur les habitants ou les travailleurs de la centrale. Les personnes évacuées présentent des syndromes post-traumatiques.

## > 210 000 personnes évacuées



Source : Université médicale de Fukushima (FMU)

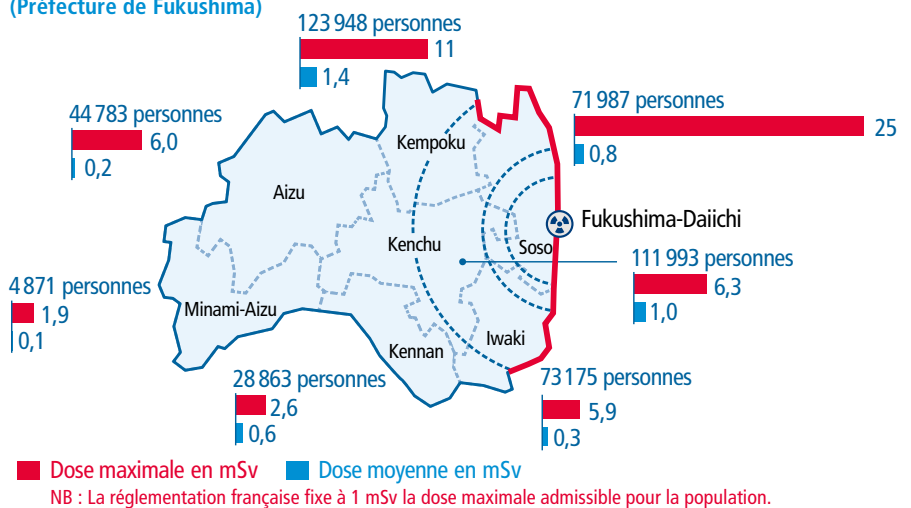
rapport aux provinces non touchées. Seules les dépressions *post-partum* sont et restent significativement plus marquées dans la région de Fukushima: 13 % en 2013 par rapport à la moyenne nationale japonaise de 9 %.

### Employés et sous-traitants

Selon les informations fournies par l'entreprise Tepco, depuis le début de l'accident, 46 181 travailleurs seraient intervenus sur le site, dont 90 % issus de sociétés sous-traitantes. L'entreprise publie depuis avril 2011 un bilan mensuel de l'exposition de ces deux catégories de travailleurs. Les employés de l'exploitant japonais ont été exposés aux doses les plus élevées. Selon Tepco, six d'entre eux ont reçu plus de 250 mSv. Leur dose moyenne s'élève à 22,4 mSv, contre 11,6 mSv pour les sous-traitants. Ces données ont peu bougé depuis les premiers mois suivant les rejets, mais le nombre de sous-traitants et leur dose moyenne tendent à augmenter. Aucun décès ni maladie liés directement aux rayonnements n'est pour l'instant à déplorer. Des leucémies, d'autres cancers radio-induits, des cataractes ou des pathologies vasculaires peuvent toutefois se manifester des dizaines d'années après l'exposition.

Antoine Degan/IRSN - Source : IRSN - juillet 2016/Magazine Repères

## > Répartition des doses externes maximales reçues au cours des quatre premiers mois après l'accident (Préfecture de Fukushima)



Source : FMU - bilan au 31/12/2015

## + de 2 millions d'habitants

feront l'objet d'un suivi épidémiologique pendant 30 ans.



**1 819 enfants** devront faire l'objet d'examen complémentaires de la thyroïde\*.

\*sur les 220 088 enfants ayant eu un 2<sup>e</sup> bilan thyroïdien au 31/12/2015

Source : FMU



**22,44 mSv** dose moyenne reçue par les salariés de Tepco\*.

\*entre le 11/03/2011 et le 31/12/2015

NB : La dose externe moyenne reçue par un travailleur français de l'industrie nucléaire est de 1,16 mSv par an (source : IRSN, bilan 2014)



**11,61 mSv** dose moyenne reçue par les salariés des sociétés sous-traitantes\*.

Source : FMU

Source : TEPCO - bilan du 29/02/2016

●●● Au-delà de l'impact radiologique, il faut analyser les conséquences psychosociales et sanitaires liées aux déplacements des populations.

**Chez les personnes évacuées, 1979 décès indirects**

Selon l'IRSN, environ 210 000 personnes ont été évacuées des 1800 km<sup>2</sup> contaminés. Les premiers bilans de santé annuels ont permis de constater des prises de poids, une hausse des hypertensions, des diabètes et des problèmes hépatiques. Un changement dans les habitudes alimentaires lié à des logements précaires et une surconsommation d'alcool liée au stress pourraient expliquer ces phénomènes.

Depuis, on constate un retour progressif à la normale. Les plus de 65 ans enregistrent une recrudescence des insuffisances rénales : 9,9% en 2015, contre 7,6% en 2011. L'État japonais a reconnu 1979 décès indirects : suicides et maladies chroniques, aggravées par le stress chez les plus âgés. Jean-René Jourdain, spécialiste de la radioprotection de l'homme, précise "qu'un accord de collaboration entre l'Université médicale de Fukushima et l'IRSN pourrait être finalisé avant fin 2016. Objectif : les aider à interpréter les informations issues des études épidémiologiques

3 questions à... **Jean-René Jourdain**

*Spécialiste de la radioprotection de l'homme à l'IRSN*

**Quels sont les objectifs du projet Priodac ?**

En cas de rejet nucléaire, la prise de comprimés d'iode stable permet de saturer la thyroïde et d'éviter l'incorporation d'iode radioactif, qui peut entraîner des cancers de la thyroïde. Priodac – Prophylaxie répétée par l'iode stable en situation accidentelle – étudie les modalités et les éventuels effets secondaires de prises répétées de tels comprimés.

**Pourquoi une telle étude ?**

L'accident de Fukushima a montré que les rejets pouvaient être répétés ou prolongés. Serait-il pertinent de prévoir plusieurs prises et, si oui, dans quelles conditions ? Priodac permettra de le savoir.

**Où en est cette étude aujourd'hui ?**

Les travaux sur le rat adulte sont presque achevés. Les études vont se poursuivre

pour déterminer la meilleure posologie chez les humains : les nourrissons, les enfants, les femmes enceintes... Le projet doit se terminer en février 2019 avec pour objectif final une modification de l'actuelle autorisation de mise sur le marché des comprimés d'iode stable et l'édition de nouvelles recommandations. Dès juin de cette année, nous devrions pouvoir déterminer des doses et des durées de traitement maximales pour ces différentes catégories de population.



et à présenter leurs résultats à la communauté internationale."

**Améliorer la gestion post-accidentelle**

En février dernier, l'Institut a souligné "qu'il fait le choix d'examiner les accidents nucléaires de Tchernobyl et de Fukushima à travers une optique large, qui dépasse la seule question de la radioprotection, afin d'en tirer le meilleur parti pour avancer sur la gestion post-accidentelle. Proposer, en cas d'accident, des mesures propres à rétablir la sécurité fait partie de nos missions

réglementaires. Depuis Fukushima, s'est ajoutée celle de permettre à la population de comprendre ces mesures en cas d'accident nucléaire." ■

- Pour en savoir plus
- **Fukushima et la sûreté** : [www.irsn.fr/R28](http://www.irsn.fr/R28)
- **Fukushima et l'environnement** : [www.irsn.fr/R29](http://www.irsn.fr/R29)
- **L'impact sur la santé de Fukushima-Daiichi** : [www.irsn.fr/fukushima-2016-sante](http://www.irsn.fr/fukushima-2016-sante)

À voir sur le webmagazine

- **Vivre après Fukushima**

**AILLEURS** Tchernobyl, une hausse majeure des cancers



**Au total, 6848 cancers thyroïdiens de l'enfant ont été diagnostiqués jusqu'en 2006 et 15 décès sont à déplorer de 1990 à 2006 (Source : rapport Unsear\* 2008).**

Jusqu'à 60 cas par an ont été observés en Biélorussie après l'accident de Tchernobyl (Ukraine) – soit une multiplication par 10 du nombre de cancers de la thyroïde. Ces pathologies ont touché les enfants de 0 à 14 ans, en particulier les moins de 4 ans et dans les quatre à cinq années après la catastrophe. À Tchernobyl, des étendues plus vastes que celles de Fukushima ont été contaminées par des rejets dix à vingt fois supérieurs. "Les conséquences radiologiques d'un accident ne sont pas seulement proportionnelles aux rejets, précise Philippe Renaud, expert en radioprotection à l'IRSN. Au Japon, des facteurs fortement atténuants ont pesé au moins autant que l'écart de rejets avec Tchernobyl dans la différence entre les doses à la thyroïde." Les Ukrainiens étaient plus carencés en iode – comparativement aux Japonais, qui consomment beaucoup de produits de la mer. L'iode radioactif se fixe plus facilement dans leur glande. Autres facteurs atténuants au Japon : l'essentiel des rejets dispersés sur le Pacifique, seuls quelques légumes fortement contaminés en raison de la date précoce de l'accident, la pratique de l'importation de fourrages qui a conduit à une très faible contamination du lait et les interdictions de consommation. ■

\* United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation



# Plus proche des préoccupations locales grâce à la concertation

**Surveillance environnementale.** Pour élaborer son constat radiologique minier du bassin versant de la Dordogne, l'IRSN a impliqué la société civile. Un partenariat positif avec les acteurs locaux et les habitants : concertation pour les prélèvements dans l'environnement, échantillons spécifiques au territoire, présentation claire des résultats...



L'experte de l'IRSN repère avec un acteur local les zones de prélèvement près de l'ancien site minier du Jaladis (Corrèze).

*Ces poissons fousseurs naviguent dans les sédiments où s'accumule la radioactivité", souligne Alain Magne, agriculteur.*

À l'été 2013, la deuxième réunion du groupe de suivi s'est concentrée sur les enjeux locaux, comme les usages de l'eau pour l'arrosage ou l'abreuvement des bovins. Elle a permis de compléter les prélèvements en se concentrant sur la production locale de fromage, les légumes et les poissons.

*"Les échanges ont renforcé notre expertise, indique Marie-Odile Gallerand, ingénieure à l'IRSN. Grâce à ce dialogue, nous avons une meilleure connaissance du territoire et des préoccupations locales."*

## Présentations des résultats avec graphiques

En juin 2014, la dernière réunion du groupe a restitué les conclusions de l'étude aux riverains. *"Les présentations des résultats avec graphiques permettent de suivre clairement et remettent les données en perspective avec le référentiel",* apprécie André Marot, riverain. Des cartes situent les lieux de prélèvement et des focus aident les lecteurs à aller plus loin.

*"Les habitants ont vu concrètement notre métier d'expert public des risques et notre capacité à dialoguer avec les acteurs locaux, conclut Audrey Lebeau-Livé, en charge de l'ouverture de l'IRSN à la société. Aujourd'hui, certains d'entre eux continuent de nous appeler. Un lien de confiance pérenne s'est noué."* ■

 Pour en savoir plus  
 [www.irsn.fr/constat-dordogne](http://www.irsn.fr/constat-dordogne)

**P**our les acteurs locaux et les riverains, les bénéfices de la surveillance radiologique minière menée sur le bassin versant de la Dordogne sont clairs. Ils ont collaboré à la définition du plan d'échantillonnages, et la présentation des résultats a été adaptée à des non spécialistes. Même écho du côté des experts : l'Institut a été au plus près des spécificités locales. Il a précisé ses stratégies de prélèvements pour les constats qui seront réalisés dans le futur.

*"Le groupe de suivi pluraliste regroupait élus, agriculteurs et habitants, souligne Élise de Geetere, responsable de l'exploitation de la centrale hydroélectrique locale. Il a permis une co-construction du constat qui le rend plus intéressant."*

Dès le lancement de cette campagne en 2012, les experts sont allés à

la rencontre des habitants du sud du département, notamment ceux du village de Saint-Julien-aux-Bois (Corrèze).

## Prélever carpes et tanches

La première réunion du groupe de suivi a eu lieu en février 2013. Elle regroupait les experts et une vingtaine de riverains de Saint-Julien-aux-Bois : membres du conseil municipal, des sociétés de chasse, des fédérations de pêche ou d'associations de défense de l'environnement. Ils ont accompagné les équipes sur le terrain. Ils ont proposé des prélèvements complémentaires : viande de cerf, champignons...

Certains pêcheurs ont orienté les experts vers les meilleurs points de rencontre des eaux pour leurs échantillonnages. *"C'est judicieux d'avoir prélevé des tanches et des carpes."*

## Agressions naturelles

# Mieux protéger la source froide

L'eau est nécessaire au refroidissement des centrales nucléaires. La source froide\* est essentielle pour la sûreté. Lors de la conception des réacteurs, les agressions naturelles possibles de la station de pompage ont été insuffisamment étudiées. La prise en compte par EDF des risques liés aux agressions naturelles résulte d'un dialogue de plusieurs décennies avec l'IRSN. Des incidents survenus en 2009 ont accéléré les mises à niveau nécessaires.

*\*Eau froide pompée d'un fleuve, d'une rivière ou de la mer pour refroidir un réacteur*



À la station de pompage de l'EPR de Flamanville (Manche), pose d'une portion de jante avec son secteur denté assurant la mise en rotation du tambour filtrant, un des systèmes de protection contre les agressions naturelles.

Alexis Morin/EDF

**D**ans la nuit du 9 janvier 2009, la température extérieure tombe à  $-15^{\circ}\text{C}$  sur le site de la centrale de Chooz, dans les Ardennes. Celle de la Meuse descend en dessous de zéro. Résultat : de la glace a colmaté la grille anti-intrusion située en amont de la station de pompage. Au matin, un agent de ronde constate que le niveau d'eau a baissé de deux mètres dans le canal qui alimente la source froide des réacteurs de Chooz B, menaçant l'approvisionnement des pompes.

*"C'est le premier événement de ce type impliquant du frasil<sup>1</sup> en France, précise Céline Picot, experte à l'Institut en agressions internes et externes des installations. L'IRSN avait déjà identifié la nécessité de s'interroger sur les agresseurs possibles de la disponibilité de la source froide, dont ce dernier."* Mais les documents de sûreté d'EDF ne prenaient pas assez en compte ces risques.

Nombre de centrales sont implantées à proximité d'un cours d'eau ou de la mer car un réacteur doit être refroidi en permanence en y prélevant de l'eau. Ce refroidissement est assuré par deux circuits : celui des systèmes importants pour la sûreté et celui de la partie conventionnelle où se trouvent la turbine et l'alternateur de production d'électricité.

### La sûreté en jeu

La conception de la source froide varie selon les spécificités géographiques de chaque site. Elle comprend en général une prise d'eau : galerie ou canal d'amenée. Cette dernière mène à une station de pompage (voir infographie p. 15). L'eau brute subit plusieurs filtrations. Sur la plupart des sites, une drome flottante ou une prégrille à l'entrée du canal d'amenée bloque l'entrée des gros objets flottants tels que troncs, des bidons, etc. Les grilles de pré-filtration arrêtent ensuite les colmatants non stoppés par les dispositifs précédents. Les filtres, à chaînes ou à tambour, situés en amont des pompes, assurent la filtration fine. Chaque réacteur dispose de deux voies d'eau redondantes de sûreté avec grilles, filtres et pompes.

Cette eau refroidit les systèmes nécessaires au fonctionnement de l'installation, en exploitation ou à l'arrêt – réacteur et piscine d'entreposage des combustibles usés – et, lors d'une situation accidentelle, les systèmes d'injection de sécurité dans le circuit primaire ou d'aspersion de l'atmosphère interne de l'enceinte du réacteur. Si l'ensemble des réserves d'eau ultimes du site sont consommées, la perte de la source froide peut conduire à la fusion du cœur. On comprend dès lors que sa protection est un enjeu majeur pour la sûreté. ●●●

●●● Les réacteurs en exploitation ont été conçus pour résister à diverses agressions naturelles : séisme, inondation, neige, vent. Mais les agresseurs possibles de la source froide sont loin de se résumer à cette seule liste. Ils comprennent la prise en glace, le frasil, la canicule, les hydrocarbures, les colmatants végétaux ou autres...

### Des algues à Paluel

“Historiquement, la prise en compte des agressions possibles de la disponibilité de la source froide s’est déroulée en plusieurs temps, tant à l’IRSN que chez l’exploitant”, explique Patricia Dupuy, responsable à l’Institut du Service d’évaluation des systèmes et des risques. Cette évolution est due au retour d’expérience des événements et à l’amélioration des connaissances sur les agresseurs potentiels.

Le réexamen de sûreté des installations, qui a lieu tous les dix ans, est à chaque fois l’occasion de “soulever la question des agresseurs possibles, de réexaminer la protection des installations et, si besoin, de retenir de nouveaux thèmes d’étude. Les tornades ont, par exemple, été introduites lors du troisième réexamen de sûreté du palier 900MWe ou VD3-900”.

Ainsi, sont successivement apparus sur les “radars” de l’IRSN<sup>2</sup> et d’EDF : les grands froids, matérialisés par les très rigoureux hivers des années 1980; la foudre, les vents extrêmes et les projectiles qu’ils transportent; les grandes chaleurs, telles les canicules de 2003 et de 2006; les étiages d’origine naturelle ou artificielle; l’ensablement et l’ensablement, avec l’événement ayant affecté Chinon B en 2005; les colmatants végétaux, avec des algues à Paluel en 2004 et 2005, etc.

“Lorsqu’un événement survient, c’est l’occasion d’un réexamen de fond de la sûreté”, souligne Patricia Dupuy. S’ensuit le contrôle des modifications matérielles, de procédure et d’organisation que doit mettre en œuvre l’exploitant pour mieux maîtriser les risques.

## L’EPR de Flamanville, une source froide renforcée



Les pertuis – ouvertures dans la façade en béton – permettent à l’eau du canal d’amenée d’entrer dans la station de pompage de l’EPR de Flamanville (Manche).

Alexis Morin/EDF

La station de pompage comprend quatre voies de prise d’eau indépendantes, dont deux sont “bunkérisées”. Elle est équipée de deux types de filtres : à tambour et à chaînes.

Les systèmes de mesure de niveau d’eau sont fiabilisés. Toute la chaîne “grilles/moyens de nettoyage/dispositifs de filtration” a été renforcée par rapport au parc actuel, pour mieux faire face à des arrivées de colmatants. L’EPR<sup>1</sup> dispose également d’un circuit indépendant de refroidissement supplémentaire<sup>2</sup>. Muni de deux trains de pompes secourues par des Diesels d’ultime secours, il peut aspirer l’eau dans la station de pompage ou, à défaut, dans l’ouvrage de rejet en mer. Cette “diversification” de la source froide constitue une évolution importante de l’EPR par rapport aux réacteurs en exploitation. ■

1. European Pressurized Reactor, ou réacteur sous pression européen

2. Système de refroidissement ultime (SRU)

Dès les années 1980, des études probabilistes menées à l’Institut et à EDF ont montré que la probabilité d’une perte totale de source froide n’est pas résiduelle. Cela peut intervenir lorsque les deux voies d’approvisionnement en eau brute d’un réacteur sont simultanément indisponibles.

Il n’y avait à l’époque aucune parade spécifiquement définie pour gérer cette situation. L’Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé des améliorations de procédure, qui ont été mises en place. Elles consistent à utiliser l’eau froide stockée dans un vaste réservoir de la centrale pour refroidir les systèmes permettant de garantir l’intégrité du circuit primaire, en attendant la remise en état de la disponibilité de

la source froide. Cette procédure sera appliquée lors de l’événement de Cruas en 2009.

### Colmatant, frasil, hydrocarbures

Le cumul d’agressions différentes – comme une inondation charriant des éléments colmatants – constitue un sujet délicat. “Nous devons nous poser toutes les questions, imaginer l’ensemble des situations possibles”, insiste Patricia Dupuy. Or l’exploitant a longtemps estimé certains cumuls trop improbables. En 2005, une étude sur les liens entre agressions externes et perte de source froide a été menée dans le cadre de la VD3-900.

L’IRSN avait identifié des situations de ce type qu’EDF avait oubliées ou



**1** Installation du tambour filtrant, haute de 22 mètres, de la station de pompage de la tranche 2 de la centrale de Penly (Seine-Maritime).



**2** Jets projetés sur le tamis du tambour filtrant de la centrale de Paluel (Seine-Maritime); présence d'algues.



**3** L'ingénieur d'EDF explique le fonctionnement du système de pompage de la recirculation d'eau chaude anti-frasil aux expertes de l'IRSN.

minimisées, ce qui a conduit à des compléments d'étude de l'exploitant. "La sûreté est une affaire au long cours, faite d'allers et retours entre l'exploitant et les experts", souligne Céline Picot. "La suite d'événements affectant la disponibilité de la source froide en 2009 à Chooz, Blayais, Cruas, Tricastin puis Fessenheim a 'secoué' EDF. Cela a accéléré la prise en compte de

ce que nous suggérons", constate Véronique Bertrand, chargée des aspects "conception et évaluation des systèmes" à l'Institut. L'exploitant a réagi en mettant en place des actions à court et moyen termes (lire p. 14). Les problèmes sont considérés pour l'ensemble du parc. Si la mise à jour des documents de sûreté reste à finaliser, "aujourd'hui, le dialogue technique

avec l'exploitant est constructif", ajoute Véronique Bertrand. Peu à peu, les sources froides du parc adoptent certaines améliorations prévues dès la conception pour le futur EPR de Flamanville (lire encadré p. 12). Malgré les progrès réalisés ou programmés, l'IRSN maintient sa vigilance, par exemple sur la capacité des réacteurs à faire face à des agressions: colmatants, frasil ou hydrocarbures.

## Le retour d'expérience international

Tout incident sérieux affectant un réacteur nucléaire doit être déclaré à l'International Reporting System (IRS) de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Une trentaine d'événements significatifs affectant la source froide d'un réacteur ont été déclarés depuis 1982. En 1984, la centrale de Borssele (Pays-Bas) a subi la concomitance d'une forte marée, d'un vent fort et d'un banc de sable dans le chenal d'aménée. En 2006, celle de Torness (Grande-Bretagne) a dû faire face à une arrivée massive d'algues. "L'objectif consiste à examiner si ce retour d'expérience international est transposable à la situation locale et à en tirer les enseignements", explique Patricia Dupuy. "En matière d'agression des sources froides, la France est un contributeur important à la base de données de l'IRS, du fait de l'importance de son parc nucléaire", note Céline Picot. L'incident de Cruas en 2009 a sans doute été le premier cas de perte totale de source froide dans le monde. ■

### Analyser de nouvelles situations

"Même si EDF a fait des efforts très importants ces dernières années pour protéger les sources froides, nous devons continuer à postuler qu'une perte peut arriver pour mieux nous y préparer. Il faut sans cesse anticiper et analyser de nouvelles situations. La nature a prouvé qu'elle peut avoir plus d'imagination que l'ingénieur", conclut Patricia Dupuy. ■

1. Cristaux de glace collante en suspension dans une eau très froide, susceptibles d'adhérer à tout objet solide et de le recouvrir peu à peu d'une couche de glace.
2. Ou de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) avant 2001

# Des modifications sur l'ensemble du parc

**Rénovation.** À la suite des événements de 2009, l'exploitant a engagé une remise à niveau des stations de pompage à Cruas (Ardèche) et sur l'ensemble du parc de réacteurs en France. Modifications matérielles, évolution des procédures de conduite, dispositif de gestion de crise : tout est bon pour améliorer la sûreté des sources froides.

Des grilles flambant neuves dominant de plusieurs mètres l'eau du canal d'aménée. Elles sont surmontées de systèmes de nettoyage automatique. Les "dégrilleurs" sont d'énormes peignes métalliques motorisés (voir photo ci-contre). Ils débarrassent les grilles des objets colmatants et les déversent dans une benne. La station de pompage de Cruas (Ardèche) a ainsi bénéficié d'une rénovation importante.

## Différents systèmes de protection de la source froide

Témoins les armoires métalliques contenant la nouvelle instrumentation, des sondes de niveau en aval des tambours filtrants. Un système de recirculation hivernale alimenté par une pompe assure la protection des grilles de préfiltration contre le phénomène "frasil". "Elle sera remplacée d'ici à la prochaine visite décennale par un système gravitaire : plus besoin d'électricité, il suffira d'ouvrir une vanne",



À Cruas (Ardèche), le dégrilleur – peigne mobile automatique – récupère les débris charriés par l'eau avant son entrée dans le tambour filtrant.

explique Stéphane Boero, directeur délégué technique de la centrale. Tout, ici, est à l'échelle industrielle. Il faut une voiture pour se rendre à l'entrée du canal d'aménée, totalement repensé après une étude hydrologique.

Perpendiculaire à l'écoulement du Rhône, un "épi-défecteur" – digue d'une soixantaine de mètres sur un soubassement rocheux – protège l'entrée du canal en déviant le flux de débris charriés par le fleuve. L'entrée est barrée par une longue drome flottante. Derrière elle, un conteneur métallique abrite un barrage flottant prêt à être déployé en cas d'arrivée d'une nappe d'hydrocarbure.

## Cruas 2009, une nuit sous tension

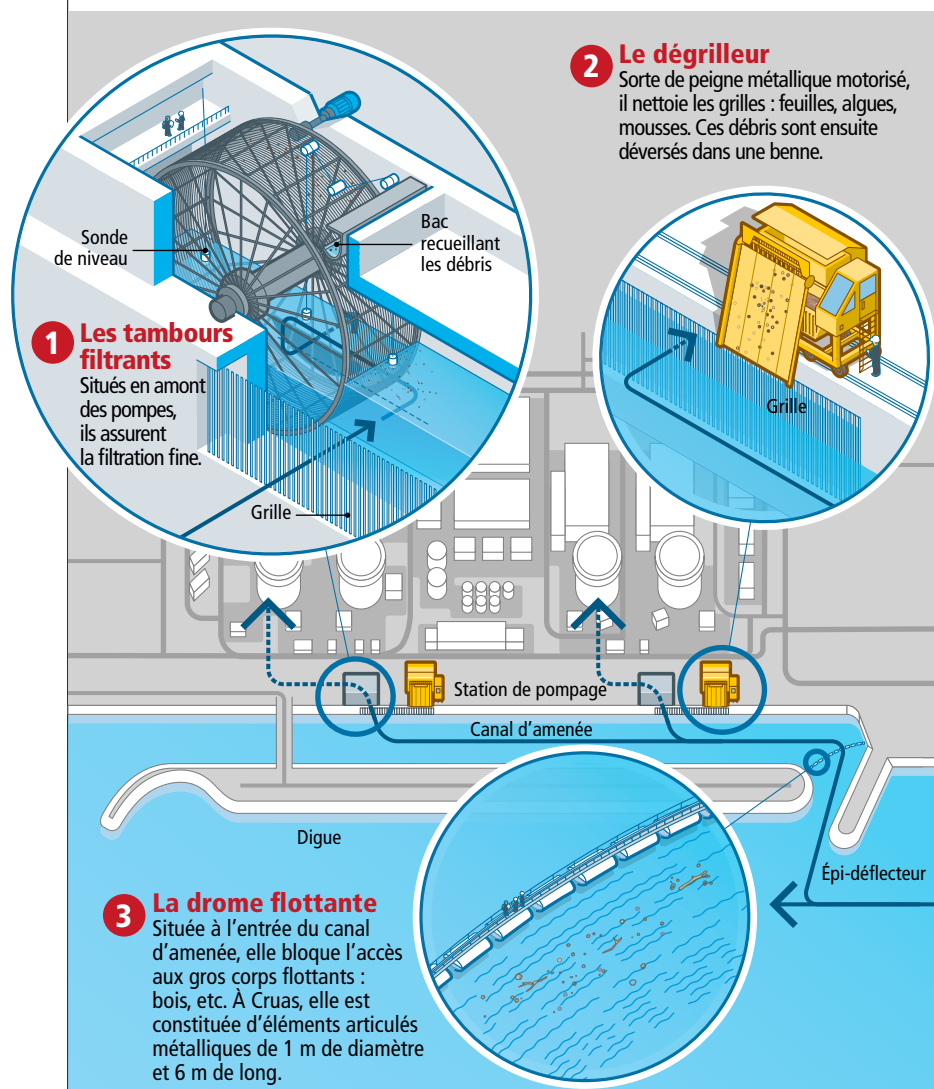
En début de soirée du 1<sup>er</sup> décembre 2009, une cinquantaine de tonnes de végétaux s'accumulent sur les grilles de la station de pompage commune aux réacteurs 3 et 4 de la centrale de Cruas-Meysse (Ardèche). L'unité de production n°4 subit une perte totale de source froide. Elle est arrêtée. Le Plan d'urgence interne (PUI) d'EDF est déclenché. Conformément aux procédures de conduite, l'exploitant utilise l'eau de deux grands réservoirs, le premier pour refroidir les systèmes de sûreté et le second pour évacuer la puissance résiduelle du cœur par une alimentation en eau des générateurs de vapeur. Dehors, le système de dégrillage s'avère insuffisant. Il faut faire intervenir des moyens mobiles pour retirer les végétaux. Tout rentre dans l'ordre au matin. La perte totale de la source froide aura duré dix heures. L'incident sera classé au niveau 2 sur l'Échelle internationale des événements nucléaires (Ines). ■

## Une remise à niveau générale

Avec des nuances propres à la géographie et à la configuration de chaque site, toutes les centrales ont bénéficié d'améliorations importantes. "L'incident de Cruas et les événements survenus en 2009 ont déclenché une réflexion globale, confirme Stéphane Boero. Cela a amené à une revue de robustesse des sources froides sur l'ensemble du parc."

## Tambours, dégrilleurs et drome flottante protègent la source froide contre des agresseurs naturels

Pour garantir la disponibilité permanente de la source froide, essentielle au refroidissement des centrales, de nombreuses améliorations ont été apportées. Tambours filtrants, dégrilleurs et drome flottante : trois systèmes protègent la source froide contre les risques liés aux colmatants.



laissant toute l'eau disponible à celles du circuit de refroidissement de sûreté. De son côté, l'IRSN, saisi par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), entamait une étude approfondie de la nature des risques, des procédures, de la conception et de la protection de la station de pompage, à Cruas puis sur l'ensemble des sites français.

À cela s'ajoutent, lorsque cela a été nécessaire, le remplacement de grilles de pré-filtration, plus solides, le doublement des capacités de dégrillage et l'installation d'une recirculation d'eau chaude contre le frasil, la mise en place d'une image du transit de l'eau brute en salle de commande et la révision des critères de dragage du canal d'amenée, pour éviter l'ensablement ou l'envasement.

### Veille environnementale

Autres modifications, moins spectaculaires mais tout aussi importantes, l'évolution des procédures – conduite, maintenance et surveillance des installations, gestion de crise – et des critères de déclenchement du PUI.

Enfin, l'exploitant assure désormais une veille environnementale. "Depuis 2012, EDF surveille les agresseurs potentiels des sources froides", précise Stéphane Boero. Chaque exploitant de site recense tout ce qui arrive sur ses grilles et ses filtres. Il envoie ces données au service environnement. Celui-ci centralise ces renseignements. Il tente de dégager des corrélations entre l'arrivée de tel ou tel colmatant et les données météorologiques ou hydrologiques, entre autres.

"EDF édite chaque semaine un bulletin donnant le niveau de risque pour chaque site, établi en lien avec les agresseurs, comme les végétaux, le froid – glace, frasil – et l'ensablement ou l'envasement", note Stéphane Boero. Sur le terrain, l'exploitant suit la quantité de végétaux présents dans la rivière ou susceptibles de se décrocher des berges, sur quelques dizaines de kilomètres en amont de chaque site, en combinant comptages et images aériennes. Il développe de nouveaux outils, en particulier un sonar pour détecter en temps réel la quantité de colmatants charriés par la rivière. ■

Antoine Dagan/Spécifique/IRSN - Source: IRSN/Magazine Repères

En amont de cette revue, EDF lançait un plan d'actions à "court terme", traitant l'aspect "agression colmatage". Il avait pour but de réexaminer l'exploitation – surveillance, conduite et maintenance – et la conception des sources froides face aux risques. Il visait aussi l'amélioration des procédures de conduite incidentelles et accidentelles. Dernier objectif : réexaminer la pertinence des critères de déclenchement du Plan d'urgence interne (PUI).

La revue "Robustesse source froide" de 2011 a conduit à la surveillance des agresseurs potentiels – débit du fleuve, quantité de végétaux, etc. –, à des modifications matérielles ou à l'amélioration de la maintenance des équipements de la station de pompage. Côté matériels, des capteurs mesurant le niveau d'eau en aval des filtres ont été posés. Dès que ce niveau atteint un seuil d'alerte, les pompes de production qui consomment de loin le plus gros débit, sont automatiquement coupées,

# La perte simultanée de sources froides

**Cas extrême.** Cette situation, mise en évidence lors de la catastrophe de Fukushima en 2011, est déjà étudiée en France depuis plusieurs années.



Alexis Morin/EDF

Le réservoir de sauvegarde du bâtiment réacteur est une innovation de sûreté de l'EPR de Flamanville (Manche). Des essais de mise en eau ont été réalisés pour tester l'étanchéité de son revêtement en inox.

Que se passerait-il si plusieurs réacteurs d'un site, voire tous, perdaient simultanément leur source froide? La centrale pourrait-elle faire face?

En France, la situation d'un accident affectant plusieurs réacteurs à la suite d'une agression est déjà examinée depuis plusieurs années.

À la demande de l'IRSN, à l'occasion du troisième réexamen de sûreté des réacteurs de 900MWe, l'exploitant a lancé en 2005 des études sur le risque et les conséquences d'une éventuelle perte totale de toutes les sources froides d'un site. Des études équivalentes ont par la suite été menées pour les autres paliers (1300MWe, N4).

"EDF a réalisé beaucoup d'études qui ont été examinées par l'IRSN, par exemple sur le partage des ressources en eau entre les différents réacteurs d'un site", confirme Patricia Dupuy, responsable à l'Institut du Service d'évaluation des systèmes et des

risques. Le principal point de fragilité concerne la réserve d'eau utilisée pour alimenter les générateurs de vapeur car, en général, commune à plusieurs réacteurs.

## Création d'une source froide diversifiée

Après beaucoup d'échanges entre l'exploitant et l'Institut, les quantités d'eau prescrites sur les sites sont désormais suffisantes pour réalimenter un réservoir appelé "bâches ASG" et satisfaire les besoins des générateurs de vapeur de tous les réacteurs pendant la durée estimée de perte de la source froide. L'événement de Cruas (Ardèche) en 2009 a confirmé la pertinence de cette approche (lire encadré p. 14).

"L'accident de Fukushima a conduit à envisager une nouvelle situation accidentelle : une perte totale des sources froides et de l'électricité affectant l'ensemble des réacteurs et piscines d'entreposage de combustibles usés,

## BIBLIOGRAPHIE

- **Avis relatif** à l'examen du retour d'expérience des réacteurs à eau sous pression du parc nucléaire, période 2009-2011 : [www.asn.fr](http://www.asn.fr)
- **Synthèse du rapport de l'IRSN** sur l'examen de retour d'expérience d'exploitation des réacteurs à eau sous pression du parc nucléaire pour la période 2009-2011 : [www.irsn.fr/Rex-Reacteurs-2009-11](http://www.irsn.fr/Rex-Reacteurs-2009-11)
- **French PWR's** ultimate heat sinks threatened by their environment : <https://www.iaea.org/INIS>
- **Vulnérabilité des sources froides** vis-à-vis des agressions externes, réunion du GPR du 13 février 2014, ASN Montrouge : [www.asn.fr](http://www.asn.fr)

## POUR EN SAVOIR PLUS

- **Repères n°6 – p. 6-7**  
"Pour que l'incident de Cruas ne se reproduise jamais"  
[www.irsn.fr/cruas-2009](http://www.irsn.fr/cruas-2009)

## CONTACTS

celine.picot@irsn.fr  
patricia.dupuy@irsn.fr  
veronique.bertrand@irsn.fr

qui se prolonge dans le temps, rappelle Patricia Dupuy. Nous avons examiné les dispositions retenues par EDF pour gérer une telle situation."

Des modifications de grande ampleur sont prévues ou engagées, telles que la création d'une source froide diversifiée utilisant par exemple l'eau de la nappe phréatique, ou encore la Force d'action rapide nucléaire (Farn) convoyant des moyens mobiles capables de venir au secours d'une centrale en difficulté. ■



À voir sur le webmagazine  
• Les expertes de l'IRSN à Cruas



# Confirmer des rejets de plutonium grâce aux archives sédimentaires

L'analyse de sédiments prélevés dans les berges de la Loire a montré la présence de plutonium à des niveaux attestant d'un apport d'origine industrielle. Des scientifiques ont fait le lien avec les accidents survenus à la centrale de Saint-Laurent-des-eaux (Loir-et-Cher). Comment s'effectuent le prélèvement et l'analyse ? À quoi serviront ces résultats ?

• **TÉMOIGNAGE** Une chercheuse en géosciences de l'Université de Tours (Indre-et-Loire). • **DÉCRYPTAGE** Les étapes pour prélever des sédiments dans les berges de la Loire et les analyser • **AVIS D'EXPERT** Une experte en géochimie à l'IRSN

## TÉMOIGNAGE

“ Chaque carottage est particulier ”

Cécile Grosbois est enseignante-chercheuse au laboratoire GéoHydrosystèmes continentaux (Géhco) à l'Université François-Rabelais de Tours (Indre-et-Loire). Elle a apporté ses connaissances scientifiques pour le choix du site de carottage et participé sur le terrain et au laboratoire à sa réalisation.

“ G éochimiste, j'ai réalisé de nombreux carottages depuis que je travaille au laboratoire GéoHydrosystèmes continentaux (Géhco) de l'Université. Chacun est particulier. L'analyse des carottes sur quelques mètres permet de reconstruire l'historique et les sources des contaminants dans les systèmes fluviaux : produits chimiques – plomb ou mercure, par exemple – et radionucléides – isotopes du plutonium, tritium, carbone 14. Cela nécessite des repérages préalables sur le terrain.

Chaque fleuve a ses spécificités, son propre comportement hydrosédimentaire. La Loire moyenne est très sableuse, contrairement à la Seine qui charrie moins de particules. Il est parfois difficile de trouver le bon endroit. Dans cette étude, le site de Montjean-sur-Loire (Maine-et-Loire) avait déjà été utilisé en 2009 pour l'archivage des métaux. Il est situé en aval des cinq centrales du bassin de la Loire : Saint-Laurent, Chinon, Civaux, Dampierre et Belleville. Il était bien placé pour l'archivage des radionucléides. Ces travaux sont réalisés en collaboration avec l'IRSN, qui s'est chargé de l'analyse des radionucléides.

### Les contraintes du choix d'un site

Comme pour tous les contaminants, il faut repérer une zone où l'accumulation de sédiments est la plus régulière possible et pas trop perturbée par l'érosion. Le site doit être exempt de toute modification : sans labour de champ ni construction de maisons...

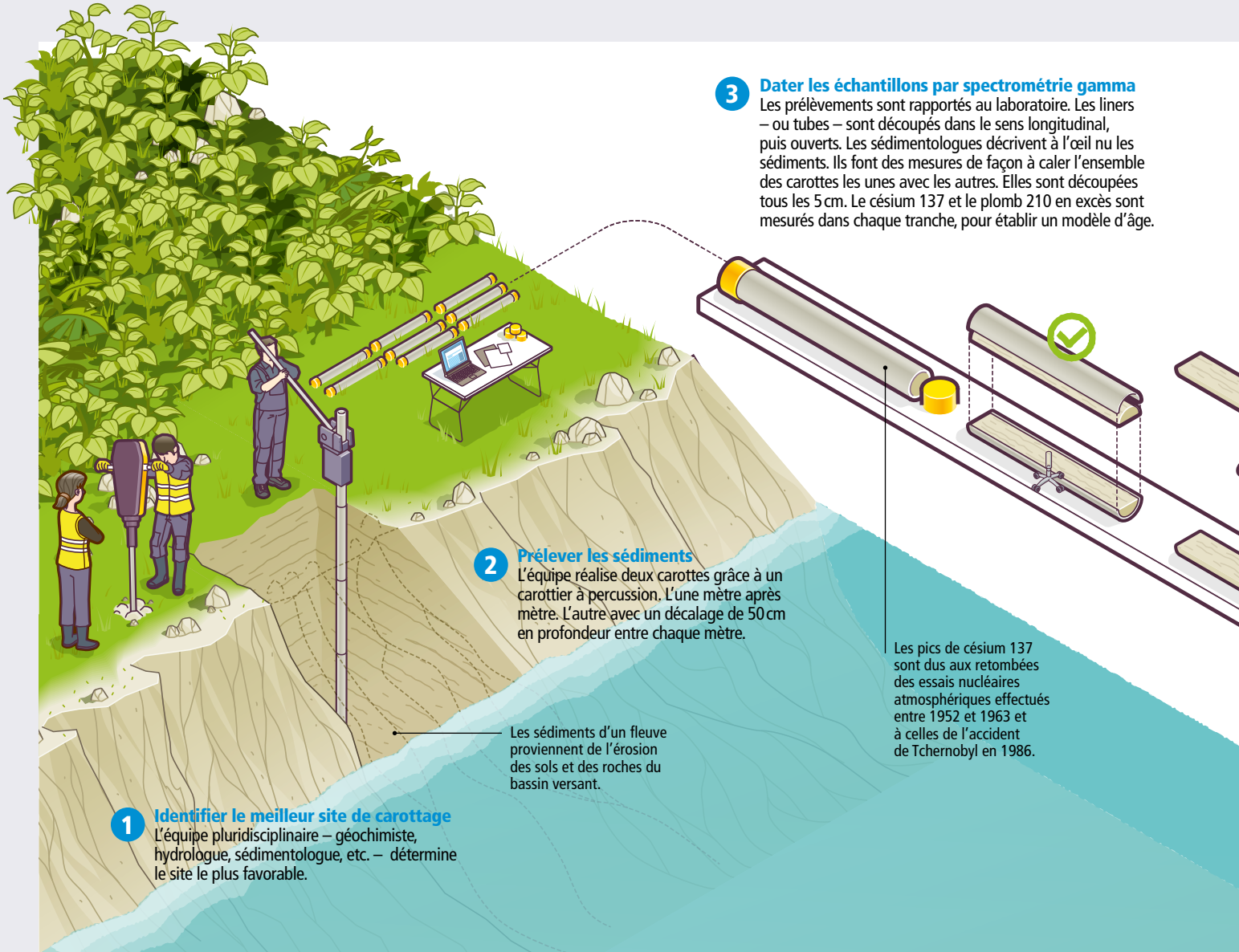
Il existe deux techniques de carottage pour un fleuve : sous tranche d'eau ou à terre, comme celle réalisée à Montjean-sur-Loire. Cette dernière est plus simple à mettre en œuvre. Nous avons pris des précautions lors de ce carottage pour ne pas contaminer les échantillons. Seuls les liners – tubes – introduits dans le carottier sont en contact direct avec les sédiments.” ■



DÉCRYPTAGE

# Les étapes pour analyser un sédiment

Afin de rechercher la trace des rejets anciens en radionucléides, une archive (Maine-et-Loire), en aval des centrales du bassin de la Loire. Voici les principales



**1 Identifier le meilleur site de carottage**  
L'équipe pluridisciplinaire – géochimiste, hydrologue, sédimentologue, etc. – détermine le site le plus favorable.

**2 Prélever les sédiments**  
L'équipe réalise deux carottes grâce à un carottier à percussion. L'une mètre après mètre. L'autre avec un décalage de 50 cm en profondeur entre chaque mètre.

Les sédiments d'un fleuve proviennent de l'érosion des sols et des roches du bassin versant.

**3 Dater les échantillons par spectrométrie gamma**  
Les prélèvements sont rapportés au laboratoire. Les liners – ou tubes – sont découpés dans le sens longitudinal, puis ouverts. Les sédimentologues décrivent à l'œil nu les sédiments. Ils font des mesures de façon à caler l'ensemble des carottes les unes avec les autres. Elles sont découpées tous les 5 cm. Le césium 137 et le plomb 210 en excès sont mesurés dans chaque tranche, pour établir un modèle d'âge.

Les pics de césium 137 sont dus aux retombées des essais nucléaires atmosphériques effectués entre 1952 et 1963 et à celles de l'accident de Tchernobyl en 1986.

## Glossaire

- **Carotte** : colonne de sédiments où les différentes couches de sédiments se sont empilées au fil du temps.
- **Bassin versant** : portion de territoire dont l'ensemble des eaux convergent vers un même exutoire ou point de sortie : cours d'eau, mer, océan, etc.
- **Spectrométrie gamma** : elle est utilisée pour doser le césium 137, pour la datation sédimentaire.
- **Spectrométrie alpha** : elle est utilisée pour la recherche d'isotopes de plutonium.

## Zoom sur la Seine

- **L'analyse des sédiments de la Seine a conduit à une découverte inattendue : des traces de plutonium vieilles de 40 ans.** De par leur profondeur, leur concentration et leur nature (<sup>238</sup>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 experts ont rétrospectivement conclu à une absence d'impact sanitaire.

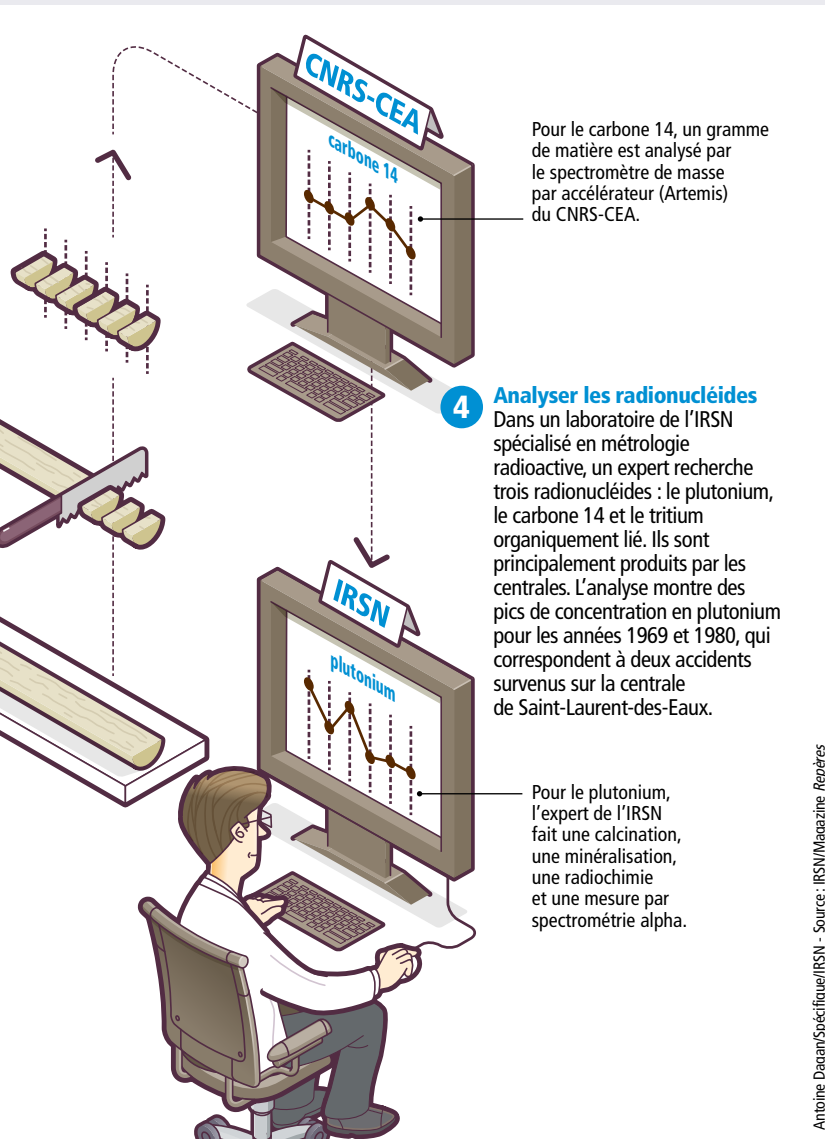


Vue en coupe d'une carotte prélevée à Montjean-sur-Loire.

EA 6392 GéHCO Université de Tours

# sur les berges de la Loire

sédimentaire a été prélevée à Montjean-sur-Loire étapes d'échantillonnage et d'analyses.



## AVIS D'EXPERT

### “ Une détection a posteriori ”

“ Les archives sédimentaires permettent d'identifier des anomalies et de les quantifier, de manière rétrospective. Ce sont des objets précieux, à partager au sein de la communauté scientifique qui s'intéresse à l'impact environnemental des métaux, des substances organiques, radioactives... Les rejets de radionucléides qui n'avaient pas été répertoriés peuvent être détectés. À partir des données, l'impact radiologique pour le public potentiellement exposé – via l'eau de boisson, l'irrigation ou l'abreuvement conduisant à la production alimentaire – peut être estimé. Cela aide à évaluer l'exposition de travailleurs tels ceux des stations d'épuration ou ceux réalisant des dragages de sédiments. Elle apporte des réponses aux citoyens : quels sont les risques pour la santé de boire l'eau ou de consommer les produits de la pêche locale en Loire aval? Dans le cas de Montjean-sur-Loire, la note, rendue publique, va alimenter l'enquête administrative en cours du ministère de l'Environnement. Cette approche a permis à l'IRSN de concevoir le projet Archéo, qui contribuera à reconstruire l'histoire de l'impact radiologique environnemental de l'industrie nucléaire en France. Il analysera les archives sédimentaires de tous les grands fleuves nucléarisés : Loire, Rhône, Rhin, Garonne, Meuse, Moselle et Seine. Ce projet s'étalera sur plusieurs années.” ■

### Pour aller plus loin

- **Des traces de plutonium dans la Seine :** à lire dans *Repères* n° 24 p. 16 [www.irsn.fr/IR24](http://www.irsn.fr/IR24)
- **Seine et Rhône : une surveillance pour répondre aux enjeux locaux** [www.irsn.fr/surv-seine-rhone](http://www.irsn.fr/surv-seine-rhone)
- **Rejets de plutonium dans la Loire** – recherche d'un marquage historique au sein d'une archive sédimentaire collectée le 21 juillet 2015 à Montjean-sur-Loire : [www.irsn.fr/plutonium-loire](http://www.irsn.fr/plutonium-loire)

### Le saviez-vous ?

- **L'activité radioactive plus ou moins grande du césium 137** permet de dater le vin et donc d'authentifier un millésime.

### Contact

- Laboratoire de recherche sur les transferts dans l'environnement : [frederique.eyrolle-boyer@irsn.fr](mailto:frederique.eyrolle-boyer@irsn.fr)

**Frédérique Eyrolle-Boyer,**  
 experte en géochimie  
 à l'IRSN



# Les citoyens mesurent eux-mêmes la radioactivité

**Information.** La difficulté des autorités japonaises à communiquer a suscité la méfiance des citoyens, qui se regroupent pour mettre en place des mesures radiologiques sur le territoire. Azby Brown, acteur du projet Safecast au Japon, et Jean-François Bottollier-Depois, responsable d'Openradiation en France, débattent des bénéfices de ces réseaux.

**Quel rôle a joué Safecast dans le débat public sur Fukushima ?**

**Azby Brown :** Le projet est parti de deux constats. Les informations disponibles sur la radioactivité faisaient défaut. Le grand public n'avait plus confiance dans les sources gouvernementales et officielles. L'objectif

était de faire preuve d'une absolue transparence, grâce à des outils *open data* et *open source*, pour fournir une source d'informations crédible, indépendante et non partisane. Aider les populations à rassembler des données de base de la dose due à la radioactivité dans l'environnement, pour montrer ce qui est "normal", et les impliquer dans un processus éducatif sont des composantes du programme. Le développement des sciences citoyennes est une tendance mondiale.

**La France n'a jamais connu d'accident radiologique grave. Pourquoi mettre en place une surveillance avec des données du public ?**

**Jean-François Bottollier-Depois :** Les initiatives comme Safecast sont importantes pour obtenir une grande quantité de données recueillies par les citoyens après Fukushima. Sur la base de cette expérience, nous avons créé une application dosimétrique dans l'esprit de Safecast et un site Internet pour centraliser les données et échanger. Ce dernier sera opérationnel début 2017. Chacun peut faire des commentaires sur une mesure en particulier, sur un point chaud\*

par exemple. Cet outil permet à ses utilisateurs, membres du public, de s'approprier de manière courante la problématique de l'exposition à la radioactivité. En cas de crise nucléaire, les données collectées pourraient être utilisées en situation d'urgence radiologique.

**Safecast est une initiative privée, venant du terrain. Un projet comme Openradiation peut-il mobiliser les individus ?**

**J.-F. B.-D. :** L'IRSN est certes un institut public, mais deux de nos partenaires sont des associations impliquées dans le milieu éducatif. Nous ne savons pas aujourd'hui si la population se mobilisera autour d'Openradiation. Nous essayons de l'inciter en utilisant des outils pédagogiques. La confiance des citoyens repose sur la transparence. C'est la raison pour laquelle nous publierons toutes les données brutes que nous recevrons.

**A. B. :** Le public est sceptique quant à la motivation des organes officiels à communiquer des informations sur les risques. C'est indéniable. Il convient néanmoins de garder ces instances en haute estime. Au Japon, le gouvernement a perdu la confiance de la population à cause de son manque

“ En France, Openradiation permettra d'acquérir et de centraliser des mesures de dose provenant du terrain en nombre important. ”



Olivier Seignette/Mikael Lafontan/IRSN

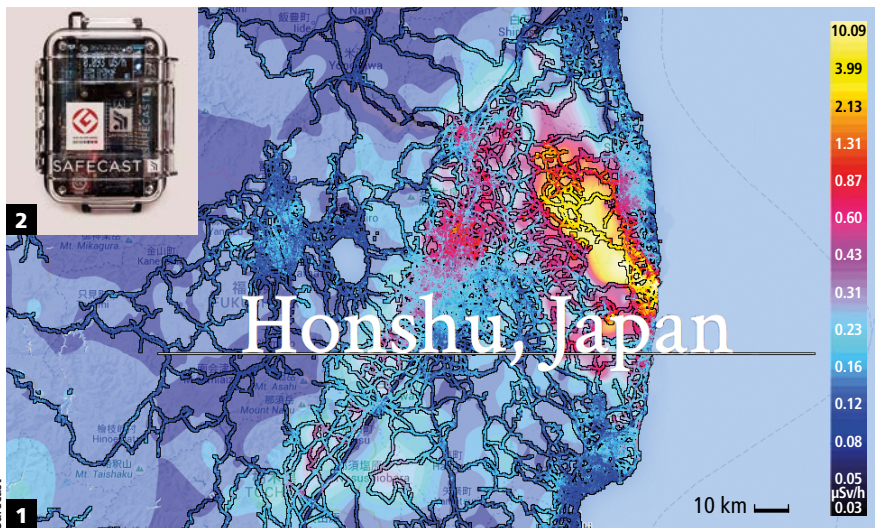
## Jean-François Bottollier-Depois

Physicien, il est responsable d'Openradiation en France, l'initiative lancée par l'Institut avec l'Université Pierre et Marie Curie et des associations\*. L'objectif est de développer des outils de mesure et une plateforme Internet, offrant aux citoyens la possibilité de partager leurs données ou d'obtenir des informations.

\*L'Institut français des formateurs risques majeurs et protection de l'environnement (Iffo-RME) et Planète Science

À RETENIR

- **Le projet Safecast** a vu le jour au Japon après l'accident de Fukushima-Daiichi. Il montre la faisabilité et les avantages d'un réseau de citoyens pour rassembler des mesures de la radioactivité, les partager et en discuter.
- **L'IRSN a initié la plateforme Openradiation** pour partager données et information sur la radioactivité. Elle permettra de centraliser les mesures réalisées avec différentes applications telles que Safecast. Elle favorisera la diffusion de l'information et le débat public.
- **Les initiatives citoyennes** sont efficaces pour recueillir un nombre important de données très rapidement après un accident radiologique.



**Cartographie des données brutes recueillies par les citoyens (1) dans le cadre du projet Safecast au moyen de boîtiers "bGeigie" (2). Ce dernier, livré en kit, prend une mesure toutes les cinq secondes lors d'un trajet et la sauvegarde avec ses coordonnées GPS pour les transférer sur le site et sa carte mondiale. L'échelle est logarithmique.**

de préparation et d'action. La France n'a jamais connu d'échec d'une telle envergure. Dans une situation d'urgence, les gouvernements ou les exploitants ne disposent pas de personnel chargé de communiquer les informations souhaitées par le public, pas plus sur le site d'un accident qu'à distance. De bonnes relations entre les groupes de citoyens comme le nôtre et les acteurs en charge de la gestion de l'accident sont essentielles. Openradiation peut contribuer à bâtir ce type de relations, dès le départ.

**Les projets Safecast et Openradiation vont tous deux collecter des données en France. Comment peuvent-ils collaborer ?**

**A. B. :** Nous encourageons fortement l'interopérabilité entre les systèmes de données sur les radiations. Rien n'empêche que les informations recueillies par les citoyens disposant de détecteurs Safecast puissent être envoyées sur le site Openradiation. Nous allons intégrer d'autres données gouvernementales à titre comparatif, celles d'Openradiation pourront aussi être facilement incorporées dans nos cartes. Nous devons nous assurer que le public comprend qu'il s'agit d'établir des protocoles de

partage de données ouvertes, et que l'indépendance de Safecast ne fait aucun doute.

**J.-F. B.-D. :** Les initiatives comme Safecast doivent rester indépendantes du gouvernement et des institutions publiques. Les projets japonais et français peuvent partager des résultats.

Nous élaborons une interface permettant d'accepter les données de Safecast. Les nôtres seront accessibles de l'extérieur par d'autres utilisateurs. ■

*\*Zone où la radioactivité est plus élevée.*

www Pour en savoir plus  
 ● **Le site du projet Safecast :**  
<http://blog.safecast.org>

“ Ce qui compte, c'est de bâtir une communauté de citoyens informée et fiable. ”

**Azby Brown**

*Architecte et universitaire américain vivant au Japon depuis 1985, c'est un membre essentiel de Safecast. Ce groupe de volontaires a été constitué juste après l'accident de Fukushima-Daiichi pour mesurer la radioactivité, au moyen de détecteurs conçus par eux-mêmes. Les citoyens partagent les données produites et en discutent via Internet.*



Pieter Franken

# Une filière Experts pour pérenniser les savoirs

**Excellence.** La filière Experts a pour but de pérenniser et de promouvoir les savoirs de l'Institut. Avec des résultats concrets : outils de sensibilisation au risque, ouvrages de référence, programmes de recherche européens en radioprotection ou gestion de crise...



John Fletcher/CGESE

**Oana Scotti, experte senior, étudie les failles sismiques, comme ici une spécialiste de l'Université de Barcelone après un séisme de magnitude 7,2 au Mexique.**

**P**atrice François, expert senior nouvellement nommé, a une mission sur le démantèlement à l'international. Afin de mettre en place des guides et des doctrines, il faut agréger les savoirs sur la faisabilité technique, la radioprotection, la gestion des déchets, l'acceptation du public. Cette mission est un exemple des actions confiées à la filière Experts de l'Institut, créée en 2005 et qui "donne les moyens de pérenniser et de partager les connaissances",

précise Giovanni Bruna, directeur scientifique de l'IRSN.

La filière est constituée d'experts confirmés et seniors. "Chacun est spécialiste dans un domaine, mais il vient d'au moins un de ces quatre champs d'activités transverses: capitalisation

et transmission des connaissances, animation scientifique, réflexion stratégique et rayonnement scientifique. Cela va de la radioprotection de l'environnement et de l'homme à la sûreté des installations, en passant par la non-prolifération et la gestion de crise. L'expert doit être capable de transformer son savoir en capital transmissible."

## Pourquoi une filière Experts ?

Lors de sa création en 2005, la filière Experts a été conçue avec deux objectifs. Le premier : contribuer à l'atteinte du meilleur niveau d'excellence scientifique possible de l'IRSN en matière de recherche, d'études et d'expertise... et à la reconnaissance de cette excellence par la communauté scientifique, les partenaires et l'ensemble de la société. Le second objectif était d'élargir les perspectives d'évolution des salariés autrement que par la prise de responsabilités hiérarchiques. Il ne s'agit pas seulement d'une distinction mais, aussi et surtout, d'une fonction sous la forme d'une mission que chaque expert se voit confiée en raison du niveau élevé de compétence que sa communauté lui reconnaît. Les missions concernent quatre champs transverses d'activités : la réflexion stratégique, l'animation scientifique, la capitalisation et la transmission des connaissances, et le rayonnement de l'établissement. Les membres de la filière sont choisis sur la base d'une cartographie des besoins de l'Institut, selon une méthode de sélection transparente.

### Former de jeunes scientifiques

L'IRSN compte 50 experts confirmés. Ils ont une dimension nationale et agissent dans leur spécialité.

Les 20 experts seniors ont, en plus, une vocation internationale, avec une approche transverse sur des domaines sensibles tels que la gestion de matières dangereuses ou les risques résiduels.

Pour favoriser la transmission, l'expert peut former de jeunes scientifiques et techniciens. Il rédige des rapports et des "livres de connaissances".

Marc Philippe, expert senior dans le domaine du cycle du combustible,

a publié un ouvrage de référence sur les systèmes nucléaires du futur qui a pour objectif d'en anticiper les problématiques de sûreté.

Pour partager avec d'autres scientifiques et promouvoir les connaissances, les experts initient des rencontres dans différents cadres : groupes de travail, conférences... Ils exercent une veille et anticipent les besoins futurs de recherche ou d'expertise. Ils contribuent à la diffusion de la doctrine de l'IRSN. François Tarallo, expert senior dans le domaine de la tenue des ouvrages en béton, a publié un ouvrage définissant la position de l'Institut sur les concepts d'enceinte géotechnique – pour limiter les conséquences sur l'environnement en cas d'accident de voie eau.

### Une filière réactive

Ils valorisent le positionnement de l'IRSN dans des organisations internationales. Ils contribuent à des associations européennes comme Nugenia<sup>1</sup>, dédiée à la recherche et au développement des technologies de fission pour les réacteurs de générations II et III, etc. Jean-René Jourdain, expert des effets sur la santé des expositions aux rayonnements, et Olivier Isnard, expert en réponses aux situations de crise, assurent le pilotage de deux projets européens. Jean-René Jourdain s'occupe d'Operra<sup>2</sup>, qui coordonne la recherche européenne en radioprotection. Olivier Isnard a en charge Fastnet<sup>3</sup>, qui préside au développement d'outils de prédiction des conséquences sur l'environnement des accidents sévères.

Face à des risques en évolution, la filière Experts est réactive. "Si de nouveaux besoins sont identifiés, pour lesquels nous ne disposons pas d'experts maison, comme la cybersécurité, nous procéderons à des recrutements", conclut Giovanni Bruna. ■

1. Nuclear Generation II & III Association

2. Open Project for the European Radiation Research Area

3. Fast Nuclear Emergency Tools

## Paroles d'experts



“ La problématique de la faille sismique capable de rompre la surface est au cœur de ma mission. Au sein de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), j'ai organisé des séminaires auxquels ont participé des experts internationaux. Objectif : créer une base de données mondiales des ruptures de surface sismiques pour nourrir les modèles prédictifs.”

**Oona Scotti** / *Experte senior en recherche sur l'aléa sismique*



“ Avec un groupe d'experts internationaux, j'ai contribué à une synthèse des travaux sur la radioactivité dans l'océan à la suite de Fukushima. Cet état des lieux doit permettre de développer des scénarios plus performants pour la modélisation de rejets accidentels en milieu marin.”

**Sabine Charmasson** / *Océanographe, experte senior en surveillance de l'environnement*



“ J'ai rédigé un document exposant la position de l'IRSN sur la sûreté des futures installations de fusion qui feront suite à celle d'Iter\*. J'ai présenté cette position lors d'un congrès en Corée du Sud et à Vienne, au siège de l'Agence internationale de l'énergie atomique.”

**Didier Perrault** / *Expert senior en sûreté des installations du cycle du combustible*

\* *International Thermonuclear Experimental Reactor, ou Réacteur thermonucléaire expérimental international*



“ J'expertise l'efficacité des appareils de protection respiratoire, avec des organismes comme l'INRS\*. J'anime un groupe de travail pour la révision des normes sur les préleveurs atmosphériques, afin de déterminer les niveaux de contamination.”

**Nathalie Michelsen** / *Experte confirmée en physico-chimie et métrologie des polluants*

\* *Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles*

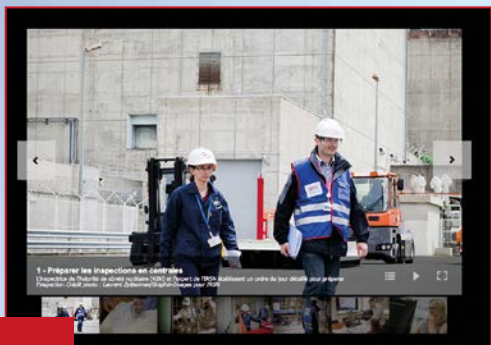


“ J'ai élaboré un document de synthèse sur les enjeux en situation d'accident grave. Je préside deux groupes de travail : l'un au sein du réseau européen Etson<sup>1</sup>, l'autre pour le Programme multinational d'évaluation des conceptions (MDEP), qui réunit les autorités de sûreté sur l'EPR<sup>2</sup>.”

**Gérard Cenerino** / *Expert senior en sûreté et accidents graves*

1. *European Technical Safety Organizations Network*

2. *European Pressurized Reactor ou Réacteur pressurisé européen*



### Diaporamas

Découvrez en images des mesures aéroportées de la radioactivité ou l'inspection d'une centrale nucléaire.

**Repères** N22

**Maintenance des centrales**  
**Prendre le temps de la réflexion**

Ne pas tout changer simultanément, utiliser la période entre deux arrêts de tranches pour mieux se préparer, renforcer le retour d'expérience... L'IRSN recommande qu'EDF prenne davantage de temps pour évaluer...

"D..."

Maintenir les volumes de travail



### Articles exclusifs

Approfondissez un article avec un reportage sur le quotidien d'une personne compétente en radioprotection médicale, la maintenance dans les centrales.

**Faibles doses : que révèle l'épidémiologie ?**

débat organisé par le magazine Repères de l'IRSN

1. Que sont les expositions à faible dose ?

2. Qu'en savent aujourd'hui les recherches sur les expositions à faible dose ?

3. Quelles sont les différences d'approche sur les faibles doses entre l'INRS et l'Université de Caroline (du Nord, États-Unis) ?

4. Quelles sont les différences d'approche sur les faibles doses entre l'INRS et l'Université de Caroline (du Nord, États-Unis) ?



### Vidéos

Visionner l'intégralité d'un débat sur les risques en radiothérapie, la gestion d'un territoire contaminé ou les faibles doses.



### Infographies

En cliquant sur ce pictogramme, vous découvrirez une démarche pionnière menée dans les Vosges contre le radon.

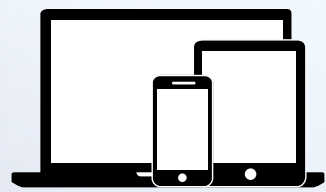


**Repères** N28

**Pays des Vosges saônoises**  
**Une démarche pionnière contre le radon**

Le Pays des Vosges saônoises, en Haute-Saône, a été le terrain d'implémentation d'une démarche plurilatérale sur le thème du radon. L'implication de nombreux acteurs a permis de développer les compétences de professionnels, de sensibiliser la population et de faire de ce qui est une préoccupation de tous.

# Lisez le webmagazine pour accéder à des contenus exclusifs



Le magazine **Repères** que vous avez entre les mains existe aussi en version digitale. Il contient des contenus complémentaires : vidéos, diaporamas, articles inédits, infographies...

Il suffit de vous connectez sur [www.irsn.fr/reperes](http://www.irsn.fr/reperes) pour accéder en un clic à ces prolongements web. Vous

pouvez également télécharger le PDF du magazine et consulter les anciens numéros. L'occasion d'avoir cette information toujours avec vous sur tous vos supports – ordinateur, tablette, smartphone – où que vous soyez.

**IRSN**  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

**Pour en savoir plus**  
[www.irsn.fr/reperes](http://www.irsn.fr/reperes)