

# REPERES

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

Faire avancer la sûreté nucléaire

EN PRATIQUE

Concevoir une enceinte  
de radiologie industrielle

DOSSIER

Radioprotection  
Les solutions s'adaptent  
aux nouveaux besoins



FAITS ET PERSPECTIVES

Comment anticiper  
au mieux le démantèlement  
de Phénix ?



## Publication du rapport NRD

Ce cinquième bilan sur les niveaux de référence diagnostiques constate une baisse des doses délivrées aux patients lors d'imageries médicales, entre 2013 et 2015. Il préconise de faire évoluer la réglementation, d'intégrer la radiologie interventionnelle, de repenser la méthodologie en imagerie pédiatrique et de créer un indicateur d'optimisation.  
[www.irsn.fr/nrd-bilan](http://www.irsn.fr/nrd-bilan)

## Aktis n° 24 est en ligne

Comment, en cas d'accident radiologique, obtenir rapidement des données sur la dose reçue pour la prise en charge médicale

## Agenda

21 février au 1<sup>er</sup> mars  
Paris

### Séminaire en clôture du projet européen Passam

En clôture du projet européen Passam\*, l'IRSN organise un séminaire international sur les systèmes d'éventage et de filtration des produits de fission susceptibles d'être rejetés dans l'environnement en cas d'accident de fusion du cœur d'un réacteur nucléaire.

\*Passive and Active Systems on Severe Accident source term Mitigation

Plus d'information :  
[thierry.albiol@irsn.fr](mailto:thierry.albiol@irsn.fr)  
<https://gforge.irsn.fr/gf/project/passam>

des personnes ? Une piste est l'utilisation de la spectroscopie par résonance paramagnétique électronique (RPE) des ongles, de l'émail dentaire ou de verres d'écrans tactiles. Ce numéro d'Aktis, revue trimestrielle de l'IRSN, fait le point sur cette technique de dosimétrie rapide en plein développement. Ce périodique existe aux formats HTML et PDF interactif, en versions PC et mobile, en français et en anglais.  
[www.irsn.fr/aktis](http://www.irsn.fr/aktis)  
[www.irsn.fr/aktis-EN](http://www.irsn.fr/aktis-EN)



## Eaux en bouteille, le contrôle de la qualité radiologique en vidéo

Comment sont traqués les radioéléments dans les eaux minérales naturelles et de source mises en bouteille ? Cette vidéo montre les phases successives d'analyse de la présence ou non de la radioactivité. Des témoignages présentent les différents types

de radionucléides recherchés.  
[www.irsn.fr/video-eaux](http://www.irsn.fr/video-eaux)



## En vidéo : qu'est-ce qu'un déchet radioactif ?

Virginie Wasselin-Trupin, experte en gestion des déchets et sûreté des colis, explique les différents types de déchets radioactifs : technologiques, industriels ou issus de la recherche et des hôpitaux – médecine nucléaire. La France en produit 1 kilogramme par an et par habitant. L'experte évoque le projet Cigéo pour le stockage en couche géologique profonde des déchets à très haute activité et à vie longue.  
[www.irsn.fr/dechets-video1](http://www.irsn.fr/dechets-video1)

Parmi les autres vidéos à voir sur les déchets :

- Peut-on s'approcher d'un déchet radioactif ?
- À quel risque doit-on faire face pour le stockage des déchets radioactifs ?



7, 8 et 9 juin  
Lille (Nord)

## Congrès national de radioprotection

Retrouvez sur le stand de l'Institut ses actions en faveur de la radioprotection des patients et des travailleurs, les activités du Laboratoire de dosimétrie de l'IRSN (LDI) et les formations.  
 Plus d'information : [www.sfrp.asso.fr](http://www.sfrp.asso.fr)



9, 10 et 11 octobre

## ICRP 2017

Le quatrième symposium international sur le système de radioprotection est organisé conjointement avec la Semaine européenne de la recherche en radioprotection  
 Plus d'information : [www.icrp.org](http://www.icrp.org)

# Online WEBMAG

[www.irsn.fr/R32](http://www.irsn.fr/R32)



Dossier Radioprotection des travailleurs

## Radiologie industrielle



Reportage : Paratonnerres radioactifs, prévenir les risques à la dépose

## Le suivi dosimétrique du professionnel



Comment mettre et enlever un EPI

## À LIRE

Dossier

## Démantèlement : déjà de nombreux terrains d'expérience

Intérêt public

## Métier d'atténuateur de radon au Canada

## Abonnement

**POUR VOUS ABONNER**  
[irsn.fr](http://irsn.fr) rubrique publications

# Sommaire

En couverture : Le personnel navigant est soumis à une dose moyenne individuelle de 1,98 mSv par an (chiffre 2015).

## P.4 TEMPS FORTS

Vieillesse du béton

**La modélisation, un outil essentiel pour l'expertise de sûreté**



Polynésie française

**La radioactivité à un très bas niveau**

## P.6 FAITS ET PERSPECTIVES

Phénix

**Comment anticiper au mieux le démantèlement ?**

## P.9 ZOOM

**Le générateur de vapeur**

## DOSSIER P.10

**Dossier du prochain n° :  
Prévenir les accidents de criticité**

**Radioprotection**  
Les solutions s'adaptent aux nouveaux besoins

## P.17 EN PRATIQUE

Radiologie industrielle

**Concevoir une enceinte blindée**

## P.20 INTÉRÊT PUBLIC

**Accompagner les habitants face au risque radon**

## P.22 REPORTAGE

Paratonnerres radioactifs

**Prévenir les risques à la dépose**

© Olivier Seignette/Mikael Lafontan/IRSN



## La radioprotection va évoluer

Année après année, les résultats présentés dans le rapport de l'IRSN sur l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France montre que la performance globale de notre système de radioprotection est satisfaisante. En 2017, la réglementation sur la radioprotection des travailleurs va évoluer\*.

Les objectifs de la Direction générale du travail sont d'harmoniser les dispositions relatives à la radioprotection des travailleurs avec celles relatives aux autres risques professionnels, de mieux graduer les exigences au regard de l'ampleur du risque et d'apporter la flexibilité nécessaire à la mise en œuvre des mesures de prévention. Elle laisse aux professionnels une plus grande latitude pour définir leurs propres moyens pour atteindre les objectifs fixés. L'Institut est prêt à renforcer leur accompagnement, en particulier quand l'utilisation des rayonnements n'entre pas dans leur cœur de métier.

\* Dans le contexte de la transposition de la directive 2013/59/Euratom et en application de la loi TECV, l'ordonnance n° 2016-128 du 10 février 2016

**Yann Billarand**

Expert en radioprotection à l'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 – Ont collaboré à ce numéro : Stéphanie Clavelle, Aleth Delattre, Pascale Monti – Comité de lecture : François Bréchnignac, Georges-Henri Mouton – Conception graphique : Vincent Dulau – Adaptation graphique, rédaction et réalisation : SPÉCIFIQUE – Iconographie : Guillaume Krebs – Photos de couverture : © Laurent Mignaux/Terra ; F.Vigouroux/CEA – Impression : Galaxy (72) – Imprimé sur Cyclus print – ISSN : 2103-3811 – février 2017.

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

## Dématérialisation

### Choisir la facture électronique

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2017\*, les fournisseurs de l'IRSN peuvent déposer leurs factures électroniques *via* Chorus Portail Pro, solution informatique sécurisée et gratuite. La procédure est simple. Trois modes de transmission sont possibles : portail (saisie directe, format PDF), flux ADI (échange de données informatisé) ou service API (interfaces de programmation). Coûts d'impression, d'envoi et de stockage réduits, délais de paiement raccourcis, gains de temps... Les avantages sont importants pour les entreprises. Elles bénéficient de nouveaux services, comme le suivi en temps réel de l'état de traitement des factures. Elles peuvent adresser une question directement sur l'espace assistance du portail. Le Siret de l'entreprise et le "numéro d'engagement" de l'Institut doivent être indiqués, sinon la facture sera rejetée. L'utilisation du portail deviendra obligatoire : d'ici à 2020, toutes les factures destinées à des entités publiques devront être dématérialisées.

\* Conformément à l'ordonnance du 26 juin 2014 qui étend l'obligation de facturation électronique aux entreprises, collectivités territoriales et établissements publics

Pour en savoir plus :

[www https://communaute-chorus-pro.finances.gouv.fr](https://communaute-chorus-pro.finances.gouv.fr)  
<https://chorus-pro.gouv.fr>

## EXPOSITION DES TRAVAILLEURS

# + 60%

En 20 ans (de 1996 à 2015), le nombre de travailleurs bénéficiant d'une surveillance dosimétrique est passé de 230 385 à 365 830. Soit une augmentation de 60%.

# 19 565

## personnels navigants

civils et militaires exposés aux rayonnements cosmiques ont un suivi dosimétrique.

Source : bilan IRSN 2015 des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants



La maquette Vercors, située à Écuellles (Seine-et-Marne), mesure 30 mètres de haut et 16 mètres de diamètre.

© Eiffage

## Vieillesse du béton

### La modélisation, un outil essentiel pour l'expertise de sûreté

“Le logiciel permet de simuler le comportement du béton coulé lors de la construction d'une enceinte de confinement d'un réacteur, son vieillissement et ce qui se passe en cas d'accident grave”, explique Sandrine Kevorkian, experte en modélisation et en calcul numérique à l'IRSN. Les experts ont modélisé la maquette Vercors<sup>1</sup> – réalisée par EDF – à l'échelle 1/3, une enceinte de confinement d'un réacteur nucléaire de 1 300 MW. L'objectif est de comprendre le comportement au jeune âge de la paroi en béton et l'évolution de l'étanchéité de l'enceinte sous l'effet du vieillissement ou dans des conditions d'accident grave.

### 520 000 éléments modélisés

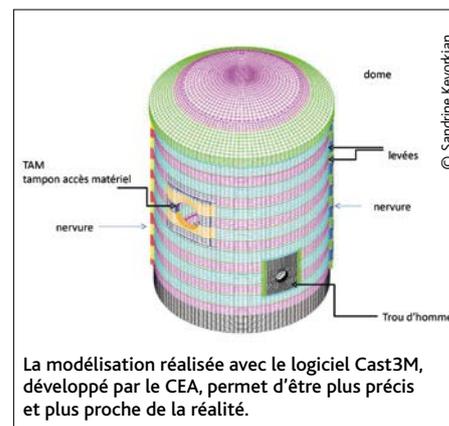
“La modélisation permet aux experts de réaliser des contre-calculs et d'évaluer les justifications de l'analyse de sûreté présentées par l'exploitant. Les résultats de la simulation seront comparés aux données issues de l'expérimentation pour les affiner”, souligne Sandrine Kevorkian. Un enjeu important, car ces enceintes représentent la troisième et dernière barrière de confinement contre le relâchement éventuel de produits radioactifs. L'efficacité de leur étanchéité est un élément essentiel pour la sûreté nucléaire.

L'exploitant a fourni à l'Institut une description détaillée des armatures, des câbles,

des “levées” – le fait de couler le béton en plusieurs fois –, etc. “Les experts modélisent les effets physiques, par exemple le retrait<sup>2</sup> du béton, ses déformations sous contrainte, précise Sandrine Kevorkian. Ils comparent ces éléments avec l'état réel observé sur Vercors. Il est possible de suivre les réactions de la structure, de détecter les points faibles comme les fissurations.”

À l'échelle 1/3, le béton sèche plus vite : une année équivaut à neuf ans d'un réacteur classique. En 2020, la maquette sera représentative d'une enceinte à 60 ans.

1. Vérification réaliste du confinement des réacteurs
2. Le retrait du béton correspond à une contraction du béton due au séchage.



La modélisation réalisée avec le logiciel Cast3M, développé par le CEA, permet d'être plus précis et plus proche de la réalité.

© Sandrine Kevorkian

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

Environnement



Jusqu'à présent, la surveillance radiologique concernait sept îles représentatives des cinq archipels : Tahiti, Maupiti, Hao, Rangiroa, Hiva Oa, Mangareva et Tubuai.

© PRP-ENV/SESURE/LESE/IRSN

“ La population polynésienne est soumise à une faible exposition, inférieure à celle de la Métropole.

Polynésie française

La radioactivité à un très bas niveau

“ La dose efficace annuelle ajoutée par la radioactivité d'origine artificielle est inférieure à 5 microsieverts par an, contre 1,6mSv/an en métropole, indique Patrick Bouisset, expert en surveillance environnementale. Après une diminution régulière – depuis l'arrêt en 1974 des essais atmosphériques français d'armes nucléaires –, la radioactivité est restée stable en 2015 à un très faible niveau. Elle est essentiellement attribuable au césium 137, rémanence des retombées anciennes des essais nucléaires.” Conformément à l'objectif d'élargir le constat radiologique à une île moins peuplée différente chaque année, une seconde île des Australes, Raivavae, a été intégrée au suivi annuel 2015. En tout, 158 échantillons de denrées alimentaires ont été analysés : poissons de haute mer, poissons et autres produits de

lagon, légumes, fruits, viandes, lait et boissons diverses. Des prélèvements ont été effectués dans l'air, l'eau et le sol. “Nous avons étudié 40 échantillons de poissons pélagiques de haute mer – thons, thazards et dorades coryphènes – prélevés dans le cadre de la pêche familiale, très répandue ici. Les teneurs en césium 137 restent très faibles, en moyenne 0,33Bq/kg frais<sup>2</sup>”, souligne-t-il. Implanté sur l'île de Tahiti à Vairao, le Laboratoire d'étude et de suivi de l'environnement (LESE) de l'Institut effectue depuis 1962 une surveillance permanente de la radioactivité en Polynésie française.

1. Poissons qui vivent dans les eaux proches de la surface ou entre la surface et le fond.
2. Becquerel par kilogramme de matière fraîche de l'échantillon

www Pour en savoir plus : [www.irsn.fr/polynesie-2015](http://www.irsn.fr/polynesie-2015)

Santé



La plateforme expérimentale Parisii comprend une animalerie de 600m<sup>2</sup> et des laboratoires : inhalation, comportement, physique, chimie et biologie.

© Laurent Zylberman/Graphique Images/IRSN

Surveillance de l'environnement

Connaître la radioactivité en un point précis

Quelle surveillance est réalisée dans mon environnement? Des élévations inhabituelles ont-elles été constatées? Pour répondre aux questions du public, le site [www.mesure-radioactivite.fr](http://www.mesure-radioactivite.fr) du Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM) a été repensé. La navigation est adaptée au profil de l'internaute : “mode guidé” pour le grand public et “avancé” pour ceux qui souhaitent en savoir plus. Dans le premier cas, l'internaute accède aux informations générales sur la surveillance autour de son lieu de vie : Qui la réalise? Quels types de prélèvements – air, eau, denrées, etc. – sont effectués? Il obtient des mesures choisies : tritium, carbone 14... Des clés de lecture l'aident à comprendre les résultats. En mode avancé, l'utilisateur peut lancer sa propre recherche par type de prélèvement, par radionucléide, etc. Il accède ainsi à toutes les données de la base RNM.

www Pour en savoir plus : [www.mesure-radioactivite.fr](http://www.mesure-radioactivite.fr)

Contamination chronique à faibles doses  
Mieux comprendre les effets

Quels sont les risques d'une contamination chronique à faibles doses? Pour le savoir, des rongeurs pourront être contaminés pendant plusieurs mois par ingestion de divers radioéléments – césium 137, strontium 90, cobalt 60, etc. –, dans le cadre du projet Parisii\*. Cette nouvelle plateforme, située à Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine), permettra aux chercheurs de l'IRSN et à la communauté scientifique française et européenne d'obtenir “des données concernant les effets de différentes expositions sur diverses classes de population – fœtus, jeune, adulte – pour plusieurs types de pathologies, précise Isabelle Dublinéau, expert en

radiotoxicologie expérimentale à l'Institut. Nous réaliserons les premières expérimentations de co-contamination de césium 137 et de strontium 90, produits de la fission nucléaire. Cela vise à étudier les situations post-accidentelles en cas de rejets radioactifs dans l'environnement.” Cette installation permettra de réaliser des expériences originales de contamination interne chronique par des émetteurs autres que gamma. Les premières débuteront début 2017.

\*Plateforme expérimentale pour les activités de recherche sur l'incorporation de substances radioactives par ingestion et inhalation

## FAITS ET PERSPECTIVES



Implantée sur les bords du Rhône, Phénix est une centrale prototype de la filière des réacteurs à neutrons rapides à sodium.

© A.Gonin/CEA



Vue plongeante depuis le toit du bâtiment réacteur. Le réacteur a une puissance thermique de 580 MWth, avec le sodium comme fluide caloporteur.

© F.Vigouroux/CEA

### Centrale Phénix

# Comment anticiper au mieux le démantèlement ?

Le décret prescrivant le démantèlement de la centrale Phénix, exploitée par le CEA, est paru le 5 juin dernier. Cette opération devrait prendre près de 30 ans. Pour l'évaluation des risques associés à cette opération, l'IRSN s'est appuyé sur son expertise et sa connaissance de l'historique de l'installation.

**M**oins connu que son grand frère Superphénix, le réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium (RNR-Na) Phénix, situé à Marcoule (Gard), a fonctionné pendant 35 ans. À l'arrêt depuis 2009, il doit maintenant être démantelé. Cette opération complexe s'étale sur plusieurs décennies et débute, bien avant l'arrêt du réacteur, par la définition du scénario le plus adapté et la réalisation d'études de sûreté afin de préparer le démantèlement proprement dit : démontage des équipements, gestion des déchets... Pour expertiser les risques, l'IRSN bénéficie de ses connaissances de l'exploitation de la centrale et du retour d'expérience du démantèlement d'autres installations.

Fin 2011, le CEA a remis un dossier de démantèlement à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Sur cette base, l'ASN a

demandé à l'IRSN son avis sur les opérations, notamment sur la sûreté, la radioprotection, la gestion des déchets et les impacts environnementaux et sanitaires. Afin de mener à bien cette mission, la prise en compte de l'historique de la centrale et de son fonctionnement est importante. Un risque serait, par exemple, de découvrir une contamination là où on ne l'attendait pas.

### Présence de sodium

*“Le retour d'expérience du fonctionnement est cruciale, observe Xavier Masseur, expert en sûreté nucléaire à l'IRSN. Par ailleurs, bénéficier de l'expérience du personnel d'exploitation est l'un des avantages du démantèlement immédiat, stratégie adoptée par la France.”* L'IRSN s'appuie sur ses archives. *“Grâce à l'obligation pour l'exploitant de déclarer les événements importants pour la*

*sûreté, nous avons pu reconstruire un historique précis.”*

Les experts se servent des connaissances issues du démantèlement de Superphénix, plus avancé. Les spécificités des RNR-Na sont notamment liées à la présence de sodium et de ses dérivés (NaK). Phénix comporte environ 1500 tonnes de sodium, métal qui peut s'enflammer au contact de l'air et générer de l'hydrogène en présence d'eau.

La mise en œuvre de procédés de traitement du sodium est nécessaire : vidange des équipements, transformation du sodium en soude aqueuse, traitement du sodium résiduel sous forme de rétentions et de films dans les équipements. *“Pour ces opérations, nous bénéficions de retours d'expérience avec les réacteurs Rapsodie, en France, et KNK-II, en Allemagne.”*

## PROCESS

### Démantèlement de Phénix: les 5 étapes

Le démantèlement de la centrale Phénix s'effectue en cinq étapes clés : préparation des scénarios à l'assainissement, arrêt du réacteur, etc. Coût prévu par le CEA pour cette opération, qui devrait durer 30 ans : 750 millions d'euros.

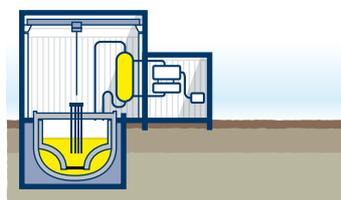


#### 1 Préparer les scénarios

Le plan de démantèlement est défini. L'exploitant établit des scénarios tenant compte du référentiel de sûreté. Il dresse l'inventaire radioactif de ses équipements. Il détermine les dispositions de radioprotection pour les travailleurs et la population. Il catégorise les déchets générés. Ces deux derniers points ont été examinés par l'IRSN.

Durée 6 ans

dont 2 ans d'instruction technique par l'IRSN



#### 2 Période de transition

C'est la préparation physique de l'installation. L'exploitant procède au retrait, au lavage, au démantèlement. Il évacue hors de l'installation des éléments combustibles fissiles et fertiles, des protections neutroniques latérales et des composants amovibles du bloc réacteur. Lors de l'évaluation du dossier de démantèlement, l'IRSN a examiné la sûreté des principales opérations.

Durée 28 ans

achèvement prévu vers 2050

Environ 1500 t de sodium liquide

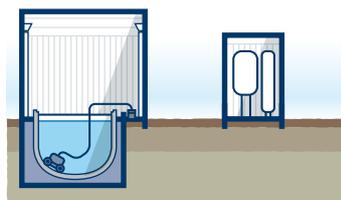


#### 3 Démantèlement

L'exploitant effectue :

- le traitement du sodium et des objets sodés : sodium secondaire d'abord, puis sodium primaire ;
- le démantèlement du bloc réacteur, des ateliers créés pour la mise à l'arrêt définitif et de la centrale.

L'IRSN expertisera le dossier de mise en service des installations de traitement du sodium et ceux relatifs aux autres jalons importants prescrits par le décret.

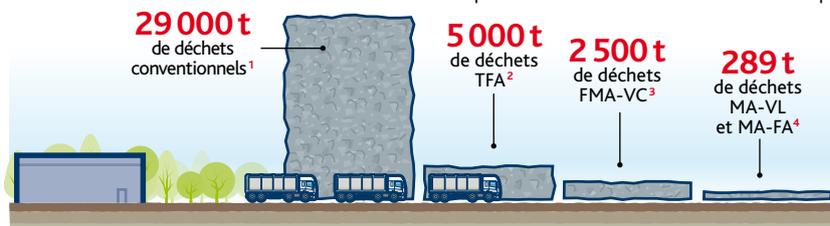


#### 4 Assainissement des structures et du sol

L'installation est "déclassée".  
Objectif : zéro contamination résiduelle.

#### 5 Traitement des déchets

Cette opération est nécessaire à toutes les étapes.



1. dont 940 tonnes de déchets dangereux. 2. TFA : très faible activité. 3. FMA-VC : faible et moyenne activité à vie courte. 4. MA-VL : moyenne activité à vie longue, MA-FA : moyenne activité fortement activés.

Sources des chiffres : CEA

© Antoine Dagan/Spécifique/IRSN - IRSN/Magazine Repères 32



Ici, la cellule des éléments irradiés : le lieu de démantèlement des assemblages et expériences d'irradiation.

Les experts de l'IRSN ont été sollicités sur plusieurs points : la limitation de l'exposition des personnels aux rayonnements, la sûreté des procédés de traitement du sodium, la gestion des déchets ou la surveillance de l'environnement...

"Nous avons mis à contribution des spécialistes, indique Xavier Masseau. Génie civil, ventilation nucléaire, risques d'incendie, radioprotection, facteurs organisationnels et humains, gestion des déchets, surveillance de l'environnement, etc." Ils ont examiné l'organisation, les spécifications des systèmes de ventilation des futurs procédés de démantèlement, les conclusions de la vérification de la conformité de l'installation à son référentiel de sûreté... Ils ont transmis des questions à l'exploitant pour éclaircir certains points et affiner l'évaluation des impacts sanitaires et environnementaux : par exemple, la justification des quantités d'effluents qui seront produites par le traitement du sodium. Ils se sont rendus sur place pour visiter les lieux, visualiser les postes de travail, organiser des réunions techniques...

#### Deux ans d'instruction

Le CEA a anticipé le réexamen de sûreté de Phénix, sorte de "check-up" obligatoire tous les dix ans. Les experts l'ont analysé. "Il a permis de vérifier que l'état de la centrale était compatible avec le démantèlement, souligne Xavier Masseau. L'IRSN n'a pas identifié de point mettant en cause le scénario développé par l'exploitant."

Le passage au crible des opérations prévues a nécessité une instruction technique d'environ deux ans. Elle a été présentée au "Groupe permanent d'experts", une assemblée d'une quarantaine de personnes – spécialistes, associations, etc. – qui a transmis ses conclusions à l'ASN.

**"Le réexamen de sûreté a permis de vérifier que l'état de Phénix était compatible avec le démantèlement."**

XAVIER MASSEAU, expert en sûreté nucléaire à l'IRSN

# FAITS ET PERSPECTIVES



Si le réacteur est définitivement arrêté, la sûreté de Phénix reste assurée 24h/24. Ici, la surveillance des fonctions du réacteur en salle de conduite.

© S.Le Coustier/CFR

Conformément à la réglementation<sup>1</sup>, une enquête publique s'est déroulée dans sept communes du Gard et quatre du Vaucluse<sup>2</sup>, situées autour de Phénix. La commission a donné un avis favorable au projet.

## Dernières opérations dans 30 ans

Est-on à l'abri de mauvaises surprises lors du démantèlement? "Nous estimons que le scénario du CEA permet de savoir où l'on va, du début des opérations au déclassement de l'installation, confirme Xavier Masseau. Il reste toujours des incertitudes liées à la maturité des études. Si les tâches ayant lieu en premier sont très bien décrites – dans le cas de la gestion du sodium, on a une idée très fine de la quantité de sodium traitée par jour, des procédés industriels... –, le niveau de détail n'est pas aussi précis pour les tâches plus lointaines. Mais les dernières opérations auront lieu dans 30 ans, ce qui laisse du temps au CEA de les affiner et à l'IRSN de les expertiser." Le décret du 2 juin 2016 prévoit que certaines étapes majeures doivent faire l'objet d'une autorisation préalable.

L'exploitant doit réviser les règles générales d'exploitation (RGE) de Phénix, document qui définit les règles et les critères opérationnels garantissant la sûreté de l'installation et la protection des personnes contre les rayonnements. L'IRSN doit prochainement formuler un avis sur ces évolutions. Enfin, le prochain réexamen de sûreté périodique doit intervenir avant le 31 octobre 2022. ■

1. Article L593-28 du Code de l'environnement

2. Dans le Gard, Bagnols-sur-Cèze, Chusclan, Codolet, Laudun-l'Ardoise, Orsan, Saint-Étienne-des-Sorts, Vénéjan. Dans le Vaucluse, Caderousse, Mornas, Orange, Piolenc.

## Quel est l'apport des experts de l'Institut au démantèlement de Phénix?

Les dossiers de démantèlement et de réexamen de sûreté ont été constitués à un moment où la réglementation a changé, suite à la loi sur la Transparence et la sûreté nucléaire. Cela a soulevé beaucoup de questions juridiques sur les procédures associées, que nous avons traitées avec l'ASN.

À l'inverse, l'expertise de l'IRSN sur les dossiers a remis les questions techniques au

centre des préoccupations, ce qui me semble essentiel. L'efficacité et la rigueur du chargé d'affaire de l'IRSN ont été appréciées.

## Comment s'est passée l'interaction?

Dès le début de cette opération, un planning a été défini pour la phase d'instruction, qui a duré

environ deux ans. Nous avons reçu environ 450 questions au cours de cette période. Les échanges ont été fluides et l'approche était pragmatique, en particulier grâce à l'organisation d'une vingtaine de réunions et des visites.

## Avez-vous un exemple de ce pragmatisme?

On ne raisonne pas de la même façon pour un site qui a vocation à s'arrêter et pour celui qui continue dix ans. La priorité, c'est d'évacuer le risque en déchargeant les combustibles nucléaires du cœur du réacteur et en traitant le sodium. L'Institut est sur la même longueur d'onde.

\* Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

## 3 questions à...

### Philippe Cottignies

Responsable de la cellule sûreté à la centrale Phénix



© Adèle Cottignies



La centrale de Mülheim-Kärlich, située près de Coblenze (Rhénanie-Palatinat), est à l'arrêt depuis 1988. Le feu vert pour son démantèlement a été donné en 2004.

© Holger Weimand

## AILLEURS

# En Allemagne, 15 démantèlements sont en cours

L'Allemagne a décidé l'abandon progressif de la production énergétique nucléaire d'ici à fin 2022. Trois démantèlements, concernant des prototypes de réacteur, ont été achevés, 15 autres sont en cours. Les exploitants sont plus nombreux qu'en France, mais les approches sont sensiblement les mêmes. Le démantèlement est lancé rapidement, environ cinq ans après l'arrêt, afin de sauvegarder la mémoire du fonctionnement de l'installation. Les processus de consultation des populations sont également similaires. Les différences sont

plus marquées dans la gestion des déchets. "Notre politique est de stocker les déchets radioactifs dans les couches géologiques profondes, indique Boris Brendebach, chef expert en démantèlement au sein de GRS\*, l'homologue allemand de l'IRSN. Comme leur gestion est très coûteuse, nous tentons de minimiser leurs quantités, ce qui est facilité par notre culture du recyclage." L'Allemagne s'attaque bientôt aux centrales plus puissantes de 800-1300 MWe. Des questions subsistent, comme celle d'une main-d'œuvre en nombre suffisant.

\* Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit



## Le générateur de vapeur, vaste surface d'échange thermique

Jean-Philippe Duprat

Expert en sûreté nucléaire  
jean-philippe.duprat@irsn.fr

Dans un réacteur à eau sous pression (Rep), la chaleur est produite dans le cœur du réacteur, contenu dans une cuve. Au contact des assemblages combustibles, l'eau qui y circule est portée à haute température (320°C). Elle est maintenue sous haute pression (155 bars) pour rester à l'état liquide. Ce circuit fermé, dit "primaire", communique avec un autre dit "secondaire" via des générateurs de vapeur (*photo*), également situés dans le bâtiment du réacteur. Dans le générateur de vapeur, qui joue le

rôle d'échangeur de chaleur, l'eau du circuit primaire passe dans un faisceau de 3500 à 5600 tubes métalliques de 1,09 mm d'épaisseur, surface d'échange thermique équivalente à un terrain de football. À leur contact, dans le haut du générateur, l'eau du circuit secondaire – à une pression supérieure à 75 bars – se transforme en vapeur. Cette dernière est dirigée à l'extérieur du bâtiment vers des réchauffeurs séparateurs d'humidité. Elle alimente ensuite des turbines haute et basse pression qui tournent à une vitesse de

1500 t/min. L'alternateur couplé à ce dispositif produit l'électricité. Dans un réacteur de 900 mégawatts, comme ici à Cruas-Meysses (Ardèche), le circuit primaire principal comporte trois générateurs de vapeur. Chacun mesure 22 mètres de hauteur et pèse 465 tonnes. Ils représentent un enjeu important pour la sûreté : la rupture d'un tube contenant de l'eau radioactive peut conduire à une fuite du circuit primaire vers le circuit secondaire, dont l'eau est non radioactive, et à un rejet dans l'environnement. ■

# DOSSIER

Le suivi dosimétrique des travailleurs concerne divers secteurs, du médical au nucléaire en passant par l'industrie et la recherche. Ici, du personnel navigant soumis aux rayonnements naturels cosmiques.



# 1,98 mSv

C'est la dose individuelle moyenne reçue en 2015 par les personnels navigants.

# Radioprotection des travailleurs

## Les solutions s'adaptent aux nouveaux besoins

Les situations d'exposition des professionnels aux rayonnements se diversifient et de nouveaux enjeux apparaissent. Les acteurs de la radioprotection, dont l'IRSN, travaillent avec les pouvoirs publics, les employeurs et les personnels sur le terrain. Ils mettent en œuvre des outils et des méthodes adaptés à ces besoins.



Le personnel de santé exposé bénéficie d'un suivi dosimétrique individuel. Ici, préparation d'une seringue de radioélément.



Un compteur proportionnel équivalent tissu dans un avion. Il a été utilisé pour étalonner les dosimètres.



**DIAPORAMA**  
Retrouvez ici  
le reportage



**Radiologie industrielle**  
[www.irsn.fr/R32](http://www.irsn.fr/R32)

**V**ieillessement des centrales nucléaires, installations d'envergure en démantèlement, usage des rayonnements ionisants dans l'industrie et dans le domaine médical, préoccupations autour de la radioactivité naturelle... Des situations de radioprotection très variées existent ou apparaissent, associées à de nouveaux enjeux. Les professionnels et les acteurs publics, comme l'IRSN, proposent des solutions adaptées à chaque cas. Après 21 mois de travail sur l'optimisation de la radioprotection des centrales EDF, l'Institut rendait ses recommandations en juin 2015\*. L'objectif était de maintenir l'exposition individuelle des professionnels du nucléaire bien en deçà des limites réglementaires. *“Il s'agit de préparer les chantiers à enjeux de radioprotection. Il faut réduire les temps d'intervention, mettre en place des moyens de protection et limiter la présence de produits de corrosion radioactifs dans les circuits, par des opérations d'assainissement, par exemple,* explique Patrick Jolivet, expert en radioprotection des installations nucléaires à l'Institut. *Sur le plan organisationnel, nous avons appuyé une proposition d'EDF d'imposer, dans chaque zone à risque d'irradiation ou de contamination du bâtiment réacteur, la présence d'une personne du service de prévention des risques, interne au site, afin de faciliter l'intervention des travailleurs extérieurs.”*

### Hiérarchie des risques professionnels

Dans le secteur médical, *“les jeunes générations comprennent bien l'utilité d'une radioprotection. Les infections nosocomiales, les troubles musculo-squelettiques ou la manipulation des chimiothérapies sont toutefois jugés plus importants dans la hiérarchie des risques professionnels,* note le Dr Denis-Jean Gambini, ancien responsable de la coordination de la radioprotection des



© Jean-Marc Jouanneaux/Paris Aéroport

Un expert de Paris Aéroport vérifie tous les mois le niveau de rayonnement autour des tomographes servant au contrôle des bagages.



© Guillaume Murat/DF

Contrairement aux idées reçues, le personnel du secteur nucléaire ne représente que 19 % des travailleurs exposés.

## “ Le système français est le seul à prendre en compte les variations liées aux éruptions solaires.

travailleurs à l'Assistance publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP) et membre du conseil scientifique de l'IRSN. L'établissement compte 7000 salariés – médecins, manipulateurs en radiologie, etc. – exposés aux rayonnements. *“Les professionnels ayant un emploi du temps chargé, il est difficile de les faire participer aux formations triennales obligatoires à la radioprotection professionnelle. Autre difficulté : les mesures de radioprotection ne doivent pas engendrer de transfert de risque. Par exemple, en radiologie interventionnelle, les mesures de protection de l'opérateur contre le rayonnement diffusé ne doivent pas conduire à augmenter l'exposition du patient au rayonnement direct, dont le débit de dose est 500 à 1 000 fois plus élevé que celui du diffusé. Néanmoins, la dose efficace individuelle moyenne à l'AP-HP est plus de deux fois inférieure à la moyenne nationale du secteur médical”*, souligne Denis-Jean Gambini.

### Mesures sur les contrôleurs à bagages

De son côté, Paris Aéroport s'est vu prêter main forte par les experts pour les contrôleurs à bagages. *“Lors de l'entrée d'une valise dans l'appareil à rayons X, une petite part de rayonnement peut s'échapper lorsque les lamelles en caoutchouc plombé se soulèvent. L'objectif des mesures est de quantifier les débits d'équivalents de dose émis lors de passage de bagage. Nos dernières interventions ont déterminé le spectre en énergie de ces rayonnements émis. Les personnels de Paris Aéroport, en charge de la radioprotection, réalisent couramment des mesures sur ces contrôleurs de bagages. Pour eux, ces interventions étaient intéressantes à deux titres : confirmer les niveaux de débit d'équivalent de dose ambiant,*

*mesurés par leurs soins, et vérifier que leurs matériels de mesure avaient une gamme en énergie en adéquation avec les rayonnements émergeant du contrôleur de bagage”*, explique Sylvain Israël, expert en radioprotection à l'Institut. La SNCF a, elle aussi, sollicité l'IRSN pour les contrôleurs de bagages de ses lignes internationales.

### De la radioactivité artificielle peut polluer les zones naturelles

Soumis aux rayonnements naturels cosmiques, les personnels navigants de l'aviation civile sont plus exposés que la plupart des travailleurs des autres secteurs, avec une dose moyenne individuelle de 1,98 mSv par an en 2015. La solution choisie pour leur suivi est le calcul de dose en fonction des trajets effectués. *“Notre cartographie du globe permet de connaître le rayonnement cosmique en tout point et à toute altitude, indique Sylvain Israël. Le système français est le seul à prendre en compte les variations liées aux éruptions solaires, grâce aux données de l'observatoire de Meudon (Hauts-de-Seine). En partenariat avec Air France, une trentaine de dosimètres sont embarqués sur des avions de ligne pour affiner nos connaissances sur ces événements rares : quatre ont eu un effet mesurable sur la dose en dix ans.”*

En 2014, ce Système d'information et d'évaluation par vol de l'exposition au rayonnement cosmique dans les transports aériens (Sievert) a été revu. Les compagnies aériennes fournissent désormais les données de vol et de présence de leurs personnels à l'Institut. Le calcul des doses est effectué automatiquement. Les données sont intégrées au registre national de dosimétrie des travailleurs. Le cas échéant, leurs heures de vol peuvent être limitées. Ils peuvent être affectés à des lignes moins exposées, comme les routes transéquatoriales subissant des rayonnements moins importants que près des pôles.

De la radioactivité artificielle peut aussi polluer les zones les plus naturelles. Des traces ont été détectées dans le Mercantour (Alpes-Maritimes/Alpes-de-Haute-Provence) après la catastrophe de Tchernobyl.

## 0,17 mSv

C'est la dose annuelle moyenne reçue par l'ensemble des travailleurs surveillés en 2015, et 0,72 mSv la dose individuelle moyenne des travailleurs suivis ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement.

Source : Bilan 2015 de l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France



À lire sur le webmagazine  
Démantèlement : déjà de  
nombreux terrains d'expérience

Une étude de la Commission de recherche et d'information indépendantes sur la radioactivité (Criirad) en rappelle l'existence à l'été 2015.

Le Comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail (CHSCT) du parc national du Mercantour en a appelé aux autorités compétentes afin de connaître les risques pour les travailleurs et les promeneurs. Des experts ont organisé sur place une réunion d'information. "Ils nous ont expliqué que le risque pour la santé était inexistant. Les données chiffrées issues de mesures sur le site d'Isola 2000 (Alpes-Maritimes), victime du même type de contamination, ont rassuré les représentants du personnel, explique Laurent Scheyer, directeur adjoint du parc et représentant du directeur au CHSCT. Les experts ont proposé aux travailleurs qui le souhaitent de porter un dosimètre, mais personne n'en a fait la demande à ce jour."

### Établir le scénario d'exposition

L'Institut développe de nouvelles méthodes d'évaluation. Hélène Caplin, ingénieur en radioprotection, a réalisé un méticuleux travail de scénarisation de l'exposition des élèves et du personnel d'un établissement scolaire, situé à Colombes (Hauts-de-Seine). L'école jouxte une friche industrielle où des traces de radium ont été mises en évidence. L'experte a pris en compte les lieux fréquentés par chacun, le temps passé, la distance par rapport au sol et les coefficients respiratoires, différents pour les adultes et les enfants. Elle a pu écarter tout risque sanitaire significatif.

Cette méthode des scénarios est de plus en plus utilisée. Récemment, dans le cadre de la reconversion d'une friche industrielle à Bordeaux (Gironde) ayant pour objectif la construction d'un groupe scolaire, les travaux d'excavation ont mis à jour des terres contaminées par du radium 226. Une centaine de travailleurs étaient concernés. Pour compléter son travail d'information et de pédagogie, l'IRSN avait alors présenté ses résultats aux responsables municipaux, aux médecins inspecteurs du travail, à l'Agence régionale de santé et à l'Institut national de veille sanitaire. ■

\*Remises au Groupe permanent d'experts pour les réacteurs de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN)

### RÉGLEMENTATION

#### Nouvelle directive Euratom : radioprotection renforcée

La directive européenne dite Euratom, publiée le 5 décembre 2013, fixe de nouvelles normes de base en matière de radioprotection. Elle abaisse la limite de dose autorisée au cristallin à 100 mSv sur cinq ans, sans dépasser 50 mSv sur un an. Elle modifie les exigences de formation et de responsabilité des personnes compétentes en radioprotection (PCR), en introduisant la nécessité d'avoir des experts – Radiation Protection Expert (RPE) – en charge de la radioprotection. Elle devra être transposée en droit français d'ici à février 2018.

## AILLEURS

En Belgique

### Bientôt des statistiques pour comparer les différents profils de travailleurs

Un agent de l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN) lors d'un transport de déchets radioactifs.



État membre de l'Union européenne et producteur d'électricité nucléaire, la Belgique peut être comparée à la France en matière de radioprotection des travailleurs. Les systèmes y sont similaires, à deux différences notables. La surveillance médicale du personnel exposé aux rayonnements y est confiée à des médecins du travail spécialisés, agréés par l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN). Sur le terrain, la radioprotection est suivie par des services de contrôle physique dotés d'experts agréés. Ils sont en général organisés en interne pour les installations de classe 1<sup>1</sup>.

Pour celles ne nécessitant pas un plein temps, les contrôles sont effectués par des organismes agréés.

#### Mise en place d'une base de données centralisée

Contrairement à la France, il n'existe pas de PCR désignée comme garante et interlocuteur privilégié des travailleurs, de l'employeur, de la médecine du travail et des autorités. Cependant, l'organisation du service de contrôle est en révision. Il est prévu la présence en permanence au sein de chaque installation d'agents de radioprotection, ce qui rejoint le système français. Par ailleurs, la Belgique a entamé une mutation de son registre de dosimétrie pour en faire une base

de données centralisée. Elle est alimentée par les utilisateurs, à l'instar de Siseri<sup>2</sup> en France.

"Nous avons récemment implémenté une plateforme d'échange associée à notre base de données, détaille Sophie Léonard, experte en radioprotection à l'AFCN. Les utilisateurs externes – services de contrôle physique ou services de dosimétrie – peuvent enregistrer directement en ligne les relevés d'exposition. Nous avons amélioré le modèle d'informations enregistrées sur la plateforme pour obtenir des données plus exploitables d'un point de vue statistique. Ceci permettra de dégager des tendances et de comparer les différents profils de travailleurs. Ont été ajoutés des champs concernant le secteur d'activité du travailleur – radiothérapie, médecine nucléaire, industrie... – ou le type de contrat – temps plein, temps partiel, etc."

Les autorités belges, comme celles de l'Hexagone, travaillent à la transposition des nouvelles exigences européennes pour la radioprotection.

1. En Belgique, les installations de classe 1 sont les centrales nucléaires de production électrique, des instituts d'études, de recherche et des centres de production de combustibles ou de traitement des déchets radioactifs.

2. Système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants

# La boîte à outils de la radioprotection s'étoffe

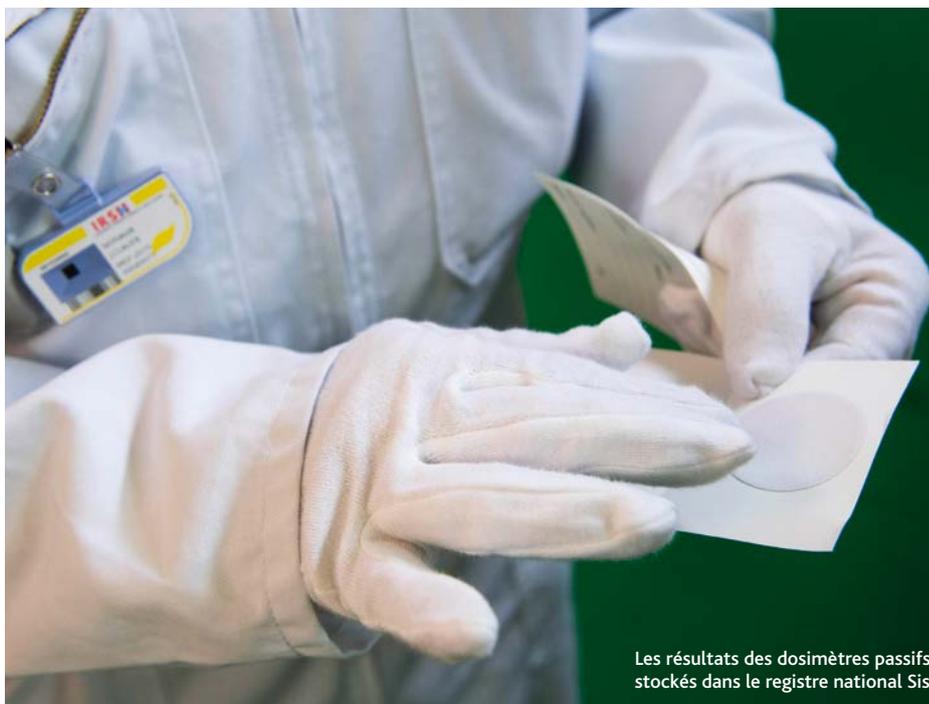
Les professionnels sur le terrain, les experts et les autorités scientifiques développent sans cesse de nouveaux documents, méthodologies et études pratiques. Ils les mettent à la disposition de la communauté des professionnels.

**N**ouvelle version du guide pour réaliser des études de postes, rencontre de professionnels en région, partage de bonnes pratiques... Voici des exemples d'outils mis en place par l'IRSN, les organisations professionnelles ou les réseaux de personnes compétentes en radioprotection (PCR) pour améliorer celle des professionnels.

Le *Guide pratique pour la réalisation des études dosimétriques de poste de travail présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants* a été mis à jour par l'Institut en 2015, après un premier lifting en 2010. "Nous avons pris en compte l'abaissement à venir de la limite de dose au cristallin (lire encadré Réglementation p.13). De nouvelles fiches spécifiques – scannographie et curiethérapie – ont été ajoutées aux trois existantes : radiologies conventionnelle et interventionnelle, et médecine nucléaire. Cela répondait à un besoin des PCR. Lors des formations, les échos montrent que cette publication est appréciée, commente Julie Sage, physicienne médicale à l'Institut. Nous espérons l'étendre prochainement à d'autres domaines que le médical, comme la gammagraphie industrielle."

### Une méthodologie spécifique au bloc opératoire

Physicien médical et PCR au Centre hospitalier universitaire (CHU) de Nîmes, Joël Greffier s'est appuyé sur ce guide pour réaliser de nouvelles études de poste dans son établissement. À cette occasion, il a publié une méthodologie spécifique au



Les résultats des dosimètres passifs sont stockés dans le registre national Siseri.

bloc opératoire. "Les niveaux d'exposition varient d'un chirurgien à l'autre. Ils diffèrent selon la spécialité : vasculaire, orthopédie, etc. Le nombre d'interventions ou le type d'actes pratiqués – angioplasties, enclouages... – jouent aussi. Sans compter les techniques d'imagerie employées : radiographie, radioscopie, images en 'rafales'. Une angioplastie de l'artère digestive délivre 80 Gy.cm<sup>2</sup>, contre 2 Gy.cm<sup>2</sup> pour l'opération d'une fracture du fémur avec enclouage", précise-t-il.

Quelle est la première étape de cette méthodologie? "C'est l'observation. La PCR doit se rendre sur place à différents moments de la journée sur plusieurs semaines. Elle rencontre les acteurs. Elle regarde leur positionnement par rapport aux sources, les équipements de protection utilisés, les examens les plus irradiants et les plus souvent pratiqués... Nous devons faire comprendre au personnel que nous sommes là pour les aider", souligne-t-il.

Il s'agit ensuite de catégoriser les actes en grandes familles, selon les localisations et les positions des opérateurs. Il faut s'appuyer sur une base de données dosimétriques – temps

de scopie, images de graphie, Produit Dose Surface – pour définir les niveaux d'exposition. "On réalise des simulations aux différents postes de travail. On les extrapole pour couvrir l'ensemble des situations. Les zones à surveiller sont définies et les études de postes réalisées, ajoute Joël Greffier. Enfin, il faut pratiquer un suivi dans le temps: améliorer la base de données dosimétriques, repérer les évolutions des pratiques... La publication de notre travail dans la revue Radioprotection valide notre méthodologie. Nous espérons qu'elle serve à d'autres PCR de blocs opératoires."

### Un outil de calcul partagé entre professionnels

Depuis 2005, en France, le registre de surveillance de l'exposition des travailleurs est informatisé. Le système Siseri<sup>1</sup>, géré par l'IRSN, recueille et stocke les résultats de la surveillance dosimétrique individuelle. Ces données sont envoyées par les laboratoires en charge des mesures.

"Nous avons besoin de compléter le registre national des doses avec des informations sur l'activité, le métier et le statut des travailleurs:

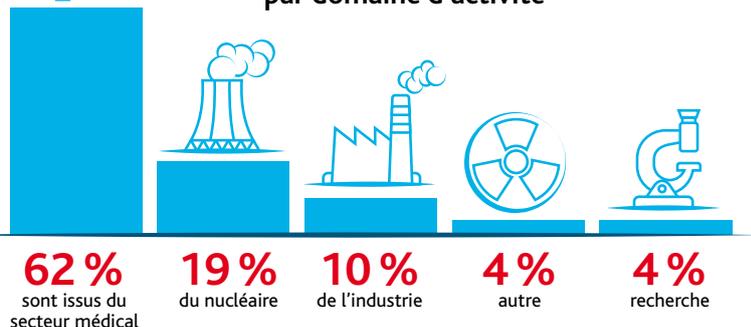
## Dix ans d'évolution de la radioprotection des travailleurs

En 2015, l'effectif des travailleurs suivis est en croissance de 1,7 % par rapport à 2014, dans la continuité de ce qui a été observé ces dix dernières années.

### Travailleurs suivis au cours de l'année

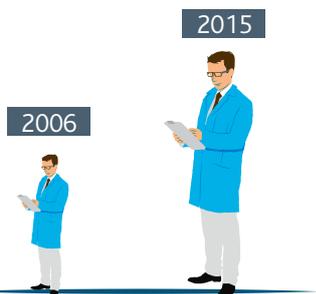


### Répartition des travailleurs suivis en 2015\* par domaine d'activité



\* 365 830 à l'exclusion des 20 240 travailleurs exposés à la radioactivité naturelle, dont l'aviation

**Le domaine médical est le secteur où la surveillance dosimétrique s'est le plus accrue**



Source : bilans IRSN 2006 et 2015 des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants

**Le nombre de travailleurs portant des dosimètres "bague" ou "poignet" progresse**



d'aides financières pour mener des études contribuant à la connaissance et aux progrès de la radioprotection", explique Sandra Delic, conseillère de la Corpar.

Avec le soutien de l'IRSN participant à ses réunions, l'association mène un travail sur Sigis<sup>3</sup> et Siseri. Objectif : détecter les problèmes auxquels font face les PCR lors de leur utilisation et mieux les former. Les réseaux proposent des rencontres régionales. Elles sont l'occasion pour les professionnels de terrain de faire connaître leurs initiatives à leurs confrères.

Un groupe de travail de la Corpar, constitué des membres des réseaux Aircap, R2Nord et Ramip<sup>4</sup>, a distribué un outil d'aide au calcul du dimensionnement des protections radiologiques conformément à la nouvelle norme NFC 15-160. Cette dernière concerne les installations pour la production et l'utilisation de rayonnements X. Les réunions plénières de la Corpar favorisent l'échange d'information entre les représentants de chaque réseau. Au niveau national, les autorités de tutelle sont informées des difficultés rencontrées sur le terrain : le sentiment d'isolement ressenti par certaines PCR, par exemple. La Corpar émet des avis sur les grands enjeux, comme en 2012 concernant l'accès des PCR à l'ensemble des résultats dosimétriques des travailleurs.

### Des fiches sur les radionucléides

Les outils développés par les instituts aident les PCR dans leur pratique au cas par cas. L'IRSN et l'Institut national de recherche et de sécurité au travail (INRS) ont réalisé conjointement une trentaine de fiches consacrées à chaque radionucléide. "Elles sont très utilisées dans les laboratoires de recherche", relève Sandra Delic.

Les organisations professionnelles et interprofessionnelles se saisissent, elles aussi, de la radioprotection dans leurs secteurs d'activités spécifiques. Le Syndicat national des ingénieurs de l'industrie et des mines a publié son propre guide de radioprotection. Les rédacteurs se sont appuyés sur les travaux des experts, qu'ils ont sollicités pour en écrire la préface et les fiches pratiques lors de la première édition en 2016. ■

1. Système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants

2. Coordination des réseaux de PCR et acteurs de la radioprotection

3. Système informatique de gestion de l'Inventaire des sources radioactives

4. Association des PCR de l'Assistance publique, Réseau radioprotection du Nord-Pas de Calais et Réseau des acteurs de la radioprotection en Midi-Pyrénées

CDI, intérimaire, etc., explique Pascale Scanff, en charge de la gestion de Siseri. Cela permet de réaliser des bilans et de produire des statistiques de l'exposition professionnelle aux rayonnements, et de mieux orienter la politique nationale de radioprotection. La réglementation a imposé aux employeurs de nous fournir ces données. Depuis 2014, le système

a évolué pour être en capacité de les recevoir." Siseri devra encore s'adapter aux nouvelles obligations liées à la transposition en droit français de la directive Euratom de 2013. Les PCR sont aujourd'hui mieux armées grâce à leur organisation en réseaux régionaux. "La Corpar<sup>2</sup> s'est récemment constituée en association. Elle bénéficie



- 1** La pièce de soudure à radiographier est mise en place sous le générateur de rayons X.
- 2** Dans le bunker, le gammagraphe est préparé par David Dresin, radiologue industriel à l'Institut de soudure de Corbas.
- 3** Olivier Morandi, responsable de l'équipe radiologie, est devant le pupitre de commande de la cabine à rayons X.
- 4** Le bouton rouge à gauche du tableau de commande permet d'arrêter le générateur de rayons X.

**REPORTAGE** À Corbas (Rhône), les radiologues industriels de l'Institut de soudure disposent d'équipements modernes pour travailler en toute sécurité. Lors de chantiers, ils doivent davantage compter sur leur expérience et le sens des responsabilités qu'ils ont développés.

## Radiologie industrielle

# Des travailleurs conscients des risques



### ■ BIBLIOGRAPHIE

- Guide "Réalisation des études dosimétriques de poste de travail présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants" (version 4) : [www.irsn.fr/etude-poste-V4](http://www.irsn.fr/etude-poste-V4)
- Bilan 2015 de l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : [www.irsn.fr/travailleurs-2015](http://www.irsn.fr/travailleurs-2015)
- Fiches radionucléides élaborées avec l'INRS : [www.irsn.fr/fiches-IRSN-INRS](http://www.irsn.fr/fiches-IRSN-INRS)
- Directive 2013/59/Euratom : [www.asn.fr](http://www.asn.fr)
- Livre blanc sur la surveillance radiologique des travailleurs : [www.irsn.fr/livre-blanc-travailleurs](http://www.irsn.fr/livre-blanc-travailleurs)
- Repères n° 22, dossier cristallin : [www.irsn.fr/R22](http://www.irsn.fr/R22)

### ■ POUR EN SAVOIR PLUS

- Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) : [www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)
- Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) : [www.oecd-nea.org](http://www.oecd-nea.org)
- Autorité de sûreté nucléaire (ASN) : [www.asn.fr](http://www.asn.fr)

### ■ CONTACTS

- Radioprotection de l'homme : [alain.rannou@irsn.fr](mailto:alain.rannou@irsn.fr)  
[yann.billarand@irsn.fr](mailto:yann.billarand@irsn.fr)
- Système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants (Siseri) : [pascale.scanff@irsn.fr](mailto:pascale.scanff@irsn.fr)
- Physique médicale : [cecile.etard@irsn.fr](mailto:cecile.etard@irsn.fr)  
[julie.sage@irsn.fr](mailto:julie.sage@irsn.fr)  
[patrick.jolivet@irsn.fr](mailto:patrick.jolivet@irsn.fr)  
[sylvain.israel@irsn.fr](mailto:sylvain.israel@irsn.fr)  
[helene.caplin@irsn.fr](mailto:helene.caplin@irsn.fr)  
[olivier.couasnon@irsn.fr](mailto:olivier.couasnon@irsn.fr)

La vaste pièce blanche, cernée de murs en béton de 1,35 mètre d'épaisseur, est fermée par une porte en plomb de plus de 20 tonnes. Pour son centre de Corbas (Rhône), le groupe Institut de soudure a construit ce bunker pour la gammagraphie et la radiographie de grosses pièces. Il est équipé de radiamètre d'ambiance, bouton d'arrêt d'urgence, clé de sécurité, voyants et alarmes... Ces outils répondent à des normes exigeantes de sécurité et de radioprotection. Une cabine est dédiée aux rayons X.

La radiologie industrielle représente environ 15% des activités de contrôle du groupe. Il s'agit de vérifier la fiabilité des soudures d'appareils sous pression et de tuyaux véhiculant des fluides dangereux, dans l'industrie nucléaire, pétrolière, gazière ou chimique. David Dresin, radiologue industriel, sort des gammagraphes d'une armoire métallique sécurisée. Chacun pèse plus de 15kg : une gangue

d'uranium et une coque en plomb isolent la source qu'ils abritent.

"Nous intervenons ici, et chez nos clients, pour contrôler des pièces intransportables, explique-t-il. On cherche alors un mur, un écran métallique derrière lequel s'abriter. Quand on n'a rien, on calcule la distance à laquelle on doit s'éloigner pendant les tirs." "Il faut rester très concentré pour n'omettre aucune étape des procédures de sécurité, souligne Christophe Bergeron, personne compétente en radioprotection (PCR). Aujourd'hui, la radioprotection est prise très au sérieux." L'implication de la direction y contribue. "Elle ne discute jamais les achats d'équipements de protection. La sécurité occupe une place importante dans nos formations. Un bon professionnel, c'est quelqu'un qui travaille en sécurité", conclut Christophe Bergeron. ■

**WWW** Pour en savoir plus : Synthèse du rapport de l'IRSN [www.irsn.fr/GPR-Sous-traitance](http://www.irsn.fr/GPR-Sous-traitance)



Un tir de gammagraphie est une technique de contrôle non destructif réalisée à l'aide d'une source radioactive émettrice de rayonnements gamma.

## Radiologie industrielle

# Concevoir une enceinte blindée

**L'ESSENTIEL** Pour limiter l'exposition des travailleurs, les tirs de radiologie industrielle avec un appareil fixe doivent s'effectuer en bunker. Comment dimensionner cette enceinte blindée, quelles normes appliquer, quels systèmes de sécurité et d'alerte mettre en place ?... Telles sont les questions à se poser.

**TÉMOIGNAGE** Une PCR de l'université de Montpellier (Hérault). **DÉCRYPTAGE** Les étapes pour dimensionner un bunker de radiologie industrielle. **AVIS D'EXPERT** Une experte en radiologie industrielle.



### Jérôme Boch

Personne compétente en radioprotection (PCR) de l'Institut d'électronique et des systèmes de l'université de Montpellier (Hérault)

## TÉMOIGNAGE "Il faut être conseillé sur les normes, les calculs, la sécurité..."

“**P**our construire un bunker, je conseillerais de faire attention au choix du fournisseur de l'irradiateur. Il doit être réactif lorsque vous demandez des précisions sur l'appareil qui sont déterminantes pour le dimensionnement de l'enceinte. Il faut aussi s'intéresser aux caractéristiques de l'appareil qui ont un impact sur les systèmes de sécurité à mettre en place. Les retours d'expérience sur des installations similaires sont utiles. Nous avons échangé avec des personnes compétentes en radioprotection (PCR), comme celle de l'hôpital de Nîmes (Gard). Notre laboratoire d'électronique teste la fiabilité des composants et des systèmes électroniques soumis à des rayonnements pour l'aérospatial ou le nucléaire. En 2012, nous avons eu besoin de construire un bunker pour abriter un irradiateur panoramique équipé d'une source de cobalt 60, afin de réaliser des irradiations de composants et de systèmes électroniques. Quatre ans ont été nécessaires pour le mener à bien. Nous avons fait suivre à

l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) notre dossier de demande d'autorisation de détention de l'appareil au fur et à mesure de sa constitution. Une société a réalisé les calculs de dimensionnement : épaisseur des murs, porte d'entrée blindée...

### Améliorer le zonage

Les experts de l'IRSN nous ont indiqué les normes sur lesquelles nous fonder et les bonnes pratiques pour le zonage. Une zone contrôlée intermittente a été mise en place dans le bunker : la zone contrôlée rouge lorsque la source est sortie de l'irradiateur devient zone contrôlée verte lorsqu'elle est en position de stockage. Les experts nous ont précisé ce qu'il fallait mettre dans la boucle de sécurité : mesure de débit d'équivalent de dose par la balise, etc. Ils nous ont aidés à établir nos protocoles d'accès et de mise en service. Grâce à ce dialogue technique, nous avons transmis un dossier précis. Les demandes correctives ont été mineures.” ■

# Comment dimensionner un bunker de radiologie industrielle ?

Les tirs de gam dans une encei de rayonnement des calculs com

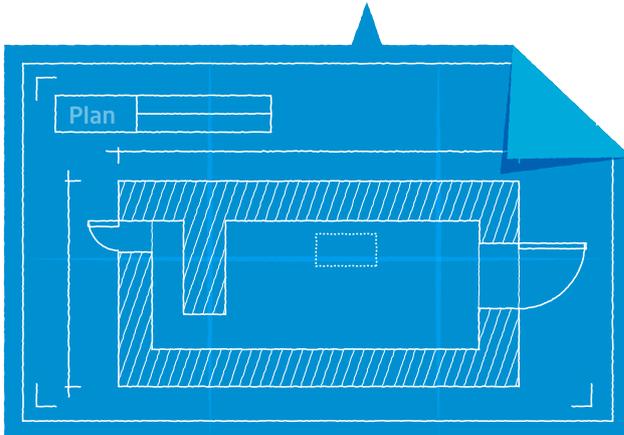
## 1 La PCR prépare, dimensionne et sécurise

Éric T., personne compétente en radioprotection (PCR), prépare le dossier de demande d'autorisation d'utilisation d'un gammagraphe. Il dimensionne le bunker, établit les systèmes de sécurité et rédige les procédures pour un tir de gammagraphie. Il réalise les études de poste, commande les dosimètres pour le personnel et envoie le dossier complété à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).



## 2 L'expert analyse, calcule et visite

L'IRSN est saisi pour avis technique. L'expert analyse le dossier. Il réalise des calculs pour vérifier que les protections radiologiques – mur, porte, toit, sol – sont suffisantes pour que les locaux adjacents soient classés en zone non réglementée. Il vérifie que les sécurités mises en place sont en accord avec les normes en vigueur. Il visite le site en demandant une simulation de la préparation du tir.



### Les questions que la PCR doit se poser

Quelle source est utilisée ?

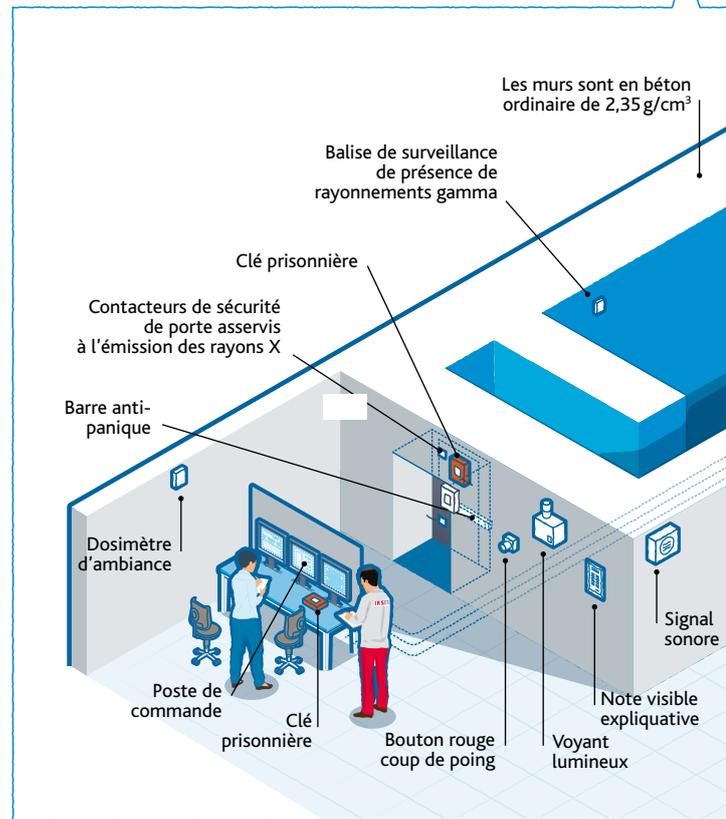
Quelle est l'épaisseur des murs, du toit, du sol ?

Faut-il une chicane ? De quelle épaisseur ?

Existe-t-il des discontinuités ? De quelle nature ?

Les zones non réglementées obligatoires autour du bunker sont-elles présentes ?

Faut-il mettre une porte en plomb coulissante plus basse que le sol ? etc.



© Antoine Dagan/Spécifique/IRSN - IRSN/Magazine Repères 32



### INFORMATIONS PRATIQUES

#### Que doit contenir un dossier de demande d'autorisation ?

- dimension du bunker, plans, schémas électriques,
- type de matériau et densité,
- nature du sol,
- discontinuités : encadrement de porte, etc.
- zonage,
- éléments de sécurité : verrouillage, arrêt d'urgence, clé prisonnière, contact de sécurité de porte, système de contrôle d'évacuation, balise de surveillance, etc.
- résultats des mesures de radioprotection,
- détail des procédures,
- études de poste.

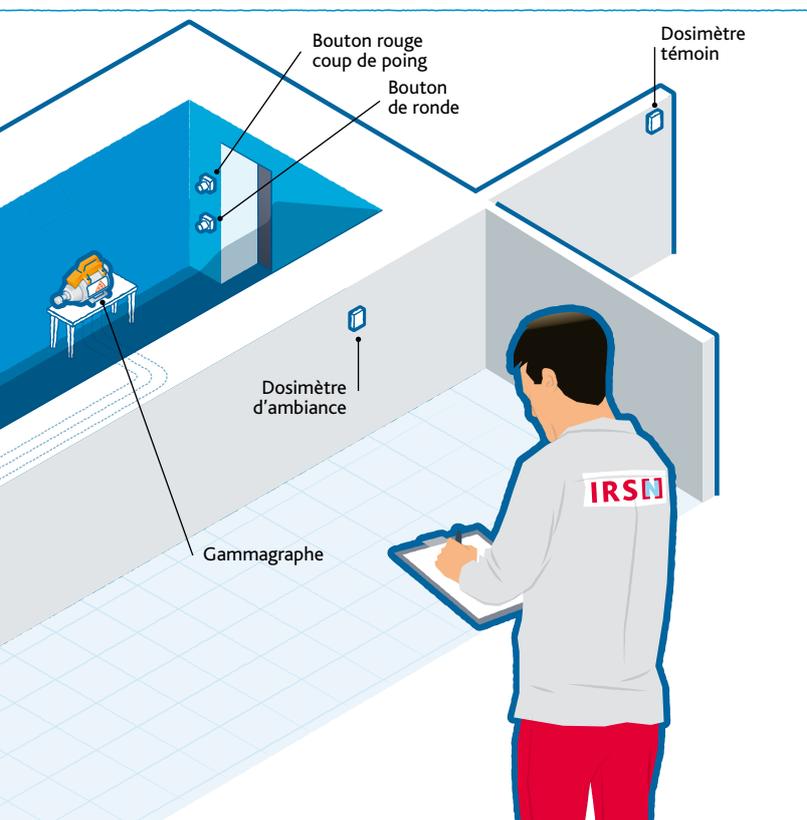
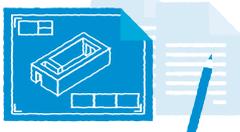
### NOUVEAUTÉS : NORME NF M 62-102

- Cette norme est dédiée aux installations de radiologie gamma dans les domaines de l'industrie et de la recherche ;
- la notion de clé prisonnière (voir glossaire) est introduite ;
- la balise doit faire partie du circuit de sécurité ;
- les locaux adjacents à l'enceinte doivent être classés en zone non réglementée.

magraphie avec un appareil fixe doivent être réalisés nte blindée, ou "bunker", qui limite l'émission ts à l'extérieur. Les industriels doivent effectuer plexes avant leur construction ou leur modification.

### 3 L'autorisation est délivrée

L'expert de l'IRSN transmet l'avis technique à l'ASN. Cette dernière l'analyse, demande le cas échéant des mesures correctives et donne l'autorisation d'utiliser le gammagraphe dans le bunker.



#### FUTURES ÉVOLUTIONS : NORME 62-103

Cette norme a pour objectif d'aider les exploitants à dimensionner leur enceinte de radiologie gamma en présentant une méthode de calcul simple pour déterminer l'épaisseur des protections radiologiques (murs et toit).

#### CONTACT

IRSN - Unité d'expertise des sources  
Tél. secrétariat : 01 58 35 70 59

#### GLOSSAIRE

**Clé prisonnière** : elle permet d'ouvrir le coffre contenant la télécommande déclenchant le tir. Il faut au préalable avoir fermé avec cette même clé la porte d'accès au bunker.

**Zones d'accès non réglementées** : le débit d'équivalent de dose dans les zones attenantes au bunker doit être inférieur à 80 µSv/mois.

#### POUR ALLER PLUS LOIN

Repères n° 24 (p. 17) : [www.irsn.fr/R24](http://www.irsn.fr/R24)  
Norme NF M62-102 : [www.boutique.afnor.org](http://www.boutique.afnor.org)  
> Éditions > Normes & Recueils

## AVIS D'EXPERT



Anne Cordelle

Experte en radiologie industrielle à l'IRSN

## "Contrôler les discontinuités"

La personne compétente en radioprotection (PCR) doit réaliser des contrôles, en particulier au niveau des discontinuités dans les protections radiologiques – mur, porte, toit, sol. Le mur doit aller jusqu'au plafond, il ne doit pas y avoir un gros interstice pour laisser passer un câble. Lors des visites techniques, nous vérifions qu'elles ont toutes bien été indiquées sur les plans transmis. Un bunker en a forcément, autour d'une porte par exemple, d'où l'intérêt de la chicane, qui permet également un accès ou un repli sécurisé. Plus le dossier de demande d'autorisation est détaillé et précis sur les dimensions, les systèmes de sécurité, les procédures ou les mesures de radioprotection, plus l'avis technique peut être effectué rapidement.

Il nous faut en moyenne de trois à six mois d'analyse. Je conseillerais à la PCR d'y joindre des plans détaillés de l'enceinte, en coupe et vu du dessus, les schémas électriques et, s'ils existent, les résultats des mesures qui auraient pu être effectuées. Lorsqu'elle met en place les procédures, la PCR doit vérifier que du matériel entreposé dans le bunker n'empêche pas le contrôle visuel lors de la ronde faite par l'opérateur qui va déclencher le tir."



Anne Cordelle  
Tél. 01 58 35 80 70  
[anne.cordelle@irsn.fr](mailto:anne.cordelle@irsn.fr)

## Accompagner les habitants face au risque radon

Gaz radioactif naturel et cancérigène, le radon est surtout présent dans les zones granitiques, où il peut pénétrer dans les maisons. À l'initiative de l'IRSN, des habitants de la Haute-Vienne ont effectué des mesures à l'aide de détecteurs. Face à des résultats élevés, des actions simples peuvent permettre de diminuer l'exposition. **Les réponses à 5 questions.**

➔ À lire sur le webmagazine  
Métier d'atténuateur de radon au Canada

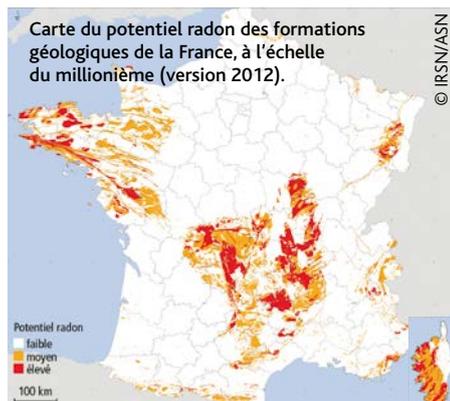
### 1 Quel risque pour ma santé ?

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle émis par le sol et les roches. Incolore et inodore, il provient de la désintégration du radium issu de l'uranium contenu dans la croûte terrestre. Il pénètre dans les bâtiments par les fondations, les caves ou les vides sanitaires. Il tend à s'accumuler dans les pièces les plus basses et les moins ventilées des habitations, comme les sous-sols.

Une exposition régulière à une forte concentration pendant plusieurs années représente un risque sanitaire démontré par les études épidémiologiques. Sur la base des recommandations de

l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et en application de la réglementation européenne, la France a fixé à 300 Bq/m<sup>3</sup> le niveau de référence qu'il convient de ne pas dépasser\*. "Le radon est reconnu comme cancérigène certain pour le poumon par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) depuis 1987", précise Didier Gay, expert en radon à l'Institut. Selon les évaluations disponibles, il serait aujourd'hui la deuxième cause de cancers du poumon après le tabac.

\* 1 becquerel (Bq) de radon par m<sup>3</sup> d'air correspond à la désintégration d'un atome de ce gaz par seconde dans ce m<sup>3</sup>.



### 2 Quelles sont les régions plus particulièrement concernées ?

"En France, les zones riches en radon sont les Vosges, le Massif central, la Bretagne et la Corse", souligne Didier Gay. À la suite de campagnes de mesures effectuées dans l'habitat entre les années 1980 et 2000, 31 départements, comme la Haute-Vienne ou la Lozère, ont été classés prioritaires car fortement exposés. L'exploitation des données géologiques permet aujourd'hui de disposer d'une cartographie plus précise des zones les plus concernées. Pour connaître le potentiel radon de sa commune, il suffit de consulter la cartographie réalisée par l'IRSN sur [www.irsln.fr/carte-radon](http://www.irsln.fr/carte-radon). Elle indique les zones où des concentrations élevées dans les habitations sont plus probables. D'autres facteurs rentrent en jeu : structure du bâtiment, ventilation et habitudes des occupants en matière d'aération ou de chauffage.



L'expert utilise une sonde bas flux avec un radiamètre pour mesurer la radioactivité.



## 3 Mon habitation contient-elle du radon ?

“Chacun peut mesurer la concentration de radon dans son logement en se procurant des détecteurs auprès de sociétés privées. Il faut les placer dans les pièces occupées pendant deux mois en hiver, période durant laquelle on chauffe et on ouvre moins les fenêtres”, conseille l’expert. Les détecteurs doivent être adressés à un laboratoire agréé, qui transmet les résultats par courrier. En cas de concentrations trop élevées, une

première série d’actions simples et peu coûteuses peut être testée : empêcher le gaz d’entrer, en colmatant, et s’assurer du bon renouvellement de l’air. Dans les cas plus complexes, il faut recourir à des travaux spécifiques, comme l’installation d’un système de dépressurisation du sol.

**www** Pour en savoir plus : Dépliant Radon : changeons d’air, relevons le défi - [www.irsna.fr/programme-radon](http://www.irsna.fr/programme-radon)



Le kit de mesure radon contient trois dosimètres, un formulaire d’identification et le mode d’emploi.



Mesure du débit de dose gamma dans l’environnement lors de l’étude sur le radon à Kersaint (Bretagne) par deux experts de l’Institut.

## 4 En quoi consistait l’expérimentation en Haute-Vienne ?

L’IRSN a lancé en décembre 2015 le programme “Radon : changeons d’air, relevons le défi”. Mené en partenariat avec deux communautés de communes de Haute-Vienne, une des régions françaises les plus exposées, il a permis à près de 800 habitants volontaires de mesurer eux-mêmes la concentration de radon à leur domicile. Il leur a suffi pour cela de se rendre dans les mairies des 15 communes partenaires afin d’y récupérer un kit comprenant trois détecteurs. Après les avoir mis en place et laissés pendant quelques semaines, ils les ont retournés au laboratoire pour analyse. Un courrier personnel – et confidentiel – a ensuite été adressé à chaque participant pour l’informer de ses résultats et lui proposer un dispositif d’accompagnement.

**www** Pour en savoir plus :  
 • Repères 18 (p.20) : [www.irsna.fr/Reperes-18](http://www.irsna.fr/Reperes-18)  
 • Repères 23 (p.9 et p.17) : [www.irsna.fr/R23](http://www.irsna.fr/R23)  
 • Repères 28 (p. 10) : [www.irsna.fr/R28](http://www.irsna.fr/R28)



Réunion d’information auprès de la population en Haute-Vienne.

© Claire Creau/IRSN

## 5 Comment les habitants ont-ils été guidés ?

À l’issue de la restitution des résultats, quatre réunions d’information, ouvertes à tous, ont été organisées. Elles ont rassemblé près de 300 personnes. Des spécialistes de l’IRSN et des représentants du Lycée des métiers du bâtiment de Felletin (Creuse) ont fourni aux participants des données de base pour comprendre l’origine des concentrations et les moyens d’y remédier. Ils étaient invités à réfléchir eux-mêmes aux

solutions adaptées à leur logement. Ceux qui le souhaitaient ont échangé avec les experts du Lycée. Au cours d’ateliers, ils ont confronté leur analyse et obtenu des conseils pour définir ou préciser les actions. “Notre objectif est de responsabiliser les habitants, en les orientant vers les solutions adaptées”, précise Didier Gay.

**www** Pour en savoir plus : WizDoc® Radon, programme multimédia pour comprendre le radon : <http://rde4822479.racontr.com>

# Paratonnerres radioactifs

## Prévenir les risques à la dépose

Des milliers de paratonnerres radioactifs, ou "parads", sont présents sur nos toitures. Un collège de l'Essonne a fait appel à une entreprise agréée pour enlever le sien en toute sécurité pour la population et les travailleurs.

En ce premier jour des vacances de la Toussaint, les élèves et le personnel du collège Condorcet à Dourdan (Essonne) ont déserté l'établissement. L'occasion idéale pour "déposer" – enlever – le paratonnerre à tête radioactive (parads) situé sur le toit. Ils sont interdits depuis 1987<sup>1</sup>, mais il en resterait 40 000 en place, selon l'association Inaparad (Inventaire national des paratonnerres radioactifs).

Franklin France, entreprise spécialisée dans la protection contre la foudre, a été choisie par le collège pour la dépose. Grâce aux fiches de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), le type de parad et le radionucléide présent ont été identifiés. Il s'agit d'un modèle à plots radioactifs de la marque Héli<sup>2</sup>, contenant du radium 226. Dès 8h30, Smahine Boufeldja, assistant coordinateur de chantier, et Alban Ossart, responsable qualité sécurité environnement, sont sur place avec une nacelle télescopique.

La dépose d'un paratonnerre radioactif nécessite l'intervention d'une société spécialisée. Ici, à bord d'une nacelle, l'assistant coordinateur de chantier, monte sur le toit d'un collège de l'Essonne pour enlever un parad.



Photos © Florence Levalain/Signatures/IRSN

### Pas moins de quatre dosimètres

Première étape : préparer la zone d'intervention et le périmètre de sécurité (voir photos). Afin d'éviter toute contamination par les poussières radioactives, l'assistant coordinateur de chantier utilise un équipement de protection individuelle (EPI) à usage unique. Il porte trois dosimètres passifs – doigt, poignet, poitrine – et un dosimètre opérationnel qui contrôle la dose reçue en temps réel. Et c'est parti. Pilotant sa montée depuis la nacelle, Smahine Boufeldja parvient à hauteur du paratonnerre. À l'aide d'une disqueuse, il découpe les deux attaches du mat. "La difficulté est de ne pas faire tomber le parad, qui pèse plus de 20kg", souligne-t-il. Une fois redescendu, il découpe la tête et les trois tiges appelées "moustaches". Il met ces éléments radioactifs dans un sac en aluminium plastifié fermé par un ruban adhésif. L'emballage et les EPI sont conditionnés dans un fût, lui-même glissé dans un deuxième, tel une poupée russe. Ce dernier est scellé et étiqueté.

Le débit de dose au contact et à un mètre du fût est mesuré. "Cela sert à déterminer l'indice de transport, de 0 à 10, explique Alban Ossart. Il est de 1 lorsque le débit de dose maximum mesuré à un mètre du colis est de 10 µSv/h. Notre entreprise est autorisée à transporter des colis dont l'indice est inférieur à 3. La législation nous impose de remplir un 'document de transport' comportant ces renseignements."

L'équipe vérifie qu'aucune partie radioactive ne reste sur le site, la zone d'intervention est nettoyée. Le fût est solidement arrimé dans

le camion, identifié par une plaque orange indiquant le code du danger et par une autre avec son symbole (classe 7 : matière radioactive). Le fût est entreposé dans le site de stockage de Franklin France, en Seine-et-Marne. L'ensemble de l'opération a duré une bonne heure. ■

1. Sont interdits depuis 1987 l'emploi des radioéléments pour la fabrication des paratonnerres ainsi que leur commercialisation et leur importation (arrêté du 11 octobre 1983).

2. La société Héli<sup>2</sup> a été la première à commercialiser des parads en France.



**DIAPORAMAS**

Retrouvez tous les reportages !



**Le suivi dosimétrique du professionnel**  
[www.irsn.fr/R32](http://www.irsn.fr/R32)



**Comment mettre et enlever un EPI**  
[www.irsn.fr/R32](http://www.irsn.fr/R32)



## Se protéger avec un EPI et suivre sa dosimétrie

Smahine Boufeldja porte un équipement de protection individuel (EPI) à usage unique. Ici à son poignet, un des trois dosimètres passifs qui mesurent sa dosimétrie. En conformité avec la réglementation, ils permettent de s'assurer que les limites d'exposition au niveau de la peau et des extrémités ne sont pas dépassées.

**www** Pour en savoir plus :  
 • Repères 23 : [www.irsn.fr/R23](http://www.irsn.fr/R23)  
 • [www.irsn.fr/paratonnerres](http://www.irsn.fr/paratonnerres)



## Mesurer le débit de dose

La tête du parad est déposée sur une feuille en plastique. L'assistant coordinateur de chantier mesure le débit de dose autour. Une zone d'intervention de 5 mètres de rayon a été balisée pour interdire l'accès à toute personne extérieure.



## Les éléments radioactifs sont mis en fût avant le transport

La tête du paratonnerre et les autres éléments radioactifs sont placés dans un sac en aluminium. Ce dernier est mis dans un fût, lui-même glissé dans un autre, en attendant le transport.



© JC Tirat, Inapamad 2012



## Le fût est transporté conformément aux règles de sécurité

Le colis est placé dans le coffre du véhicule, le plus loin possible du chauffeur. Il est calé solidement à l'aide de sangles et de crochets. Le conducteur reviendra au lieu de stockage par le chemin le plus direct. L'Andra prendra ensuite en charge le colis.

## Plus de 200 "chasseurs volontaires" de parads

Citoyens bénévoles, ils contribuent à l'Inventaire national des paratonnerres radioactifs (Inapamad), créé par Jean-Christian Tirat, journaliste toulousain, en mars 2011. Conseillé par l'IRSN, Inapamad fonctionne en étroite relation avec les experts. Ici, un chasseur de parad mesure l'activité d'un modèle inconnu.



Images: Bandiany122/istock photo et document IRSN ; Grégoire Maisonneuve/IRSN

**Personnes compétentes en radioprotection**, vous recherchez un service fiable pour assurer le suivi des professionnels exposés ? Que vous travailliez dans le domaine médical, nucléaire, industriel ou dans la recherche, l'IRSN vous propose une gamme complète de dosimètres passifs performants et ergonomiques. Un portail de gestion et de commande vous facilite la dosimétrie.



**Pour en savoir plus**  
Laboratoire de dosimétrie de l'IRSN (LDI)  
E-mail : [dosimetre@irsn.fr](mailto:dosimetre@irsn.fr)  
Sites : [dosimetre.irsn.fr](http://dosimetre.irsn.fr)



Faire avancer la sûreté nucléaire