

N°47
NOVEMBRE 2020

Le magazine de l'IRSN

REPÈRES

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

EN PRATIQUE

Sources, quelles protections
contre la malveillance ?

DOSSIER

Vieillissement des centrales Fonctionner en sûreté après 40 ans

REPORTAGE

Mesures de sécurité pour
un irradiateur industriel





Baromètre 2020 : les questions sociales au premier plan

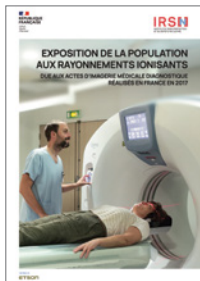
La grande pauvreté et l'exclusion sont les principales préoccupations des Français, devant le dérèglement climatique et le terrorisme, montre le dernier baromètre IRSN de la perception des risques et de la sécurité. L'enquête, menée à l'automne 2019, révèle aussi une confiance élevée dans l'expertise : plus de 70% déclarent se fier aux institutions scientifiques. www.barometre.irsn.fr

Le dernier rapport Expri (Exposition de la population française aux rayonnements ionisants). Édité par l'IRSN, il est basé sur l'analyse des données – actes d'imagerie diagnostique – de l'année 2017. L'exposition médicale individuelle est stable depuis 2012 et s'élève à 1,5 mSv, soit environ la moitié de l'exposition moyenne d'origine naturelle. La scannographie est la modalité qui expose le plus la population. www.irsn.fr/expri



Des thèses en BD

Les 12 doctorants ayant participé à « 3 minutes pour une thèse » voient leurs efforts de vulgarisation récompensés : l'illustration de leur thèse... tout en cases et en bulles. Leurs recherches portent sur le dépôt d'iode en cas d'accident nucléaire, les lésions pulmonaires après irradiation, la fissuration du béton des enceintes des réacteurs... et le gagnant a reçu sa thèse en BD. www.irsn.fr/these-3min



5^e édition du rapport Expri

45% de la population française est exposée annuellement à des rayonnements ionisants pour raisons médicales, révèle

Agenda

Agenda sous réserve de la tenue des événements, en raison de la crise liée au Covid-19.

24 et 25 novembre 2020

Congrès virtuel

12^e rencontres PCR

« Partager du savoir-faire » est le mot d'ordre des douzième rencontres des personnes compétentes en radioprotection (PCR), organisées par la Société française de radioprotection (SFRP). Le congrès, devenu virtuel, inclut des interventions des experts de l'IRSN,

initialement prévues sous forme de sessions plénières et tutoriales. Parmi les thèmes abordés, le risque radon et Miodose, l'outil de calcul de doses en cas de contamination interne.

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

Online WEBMAG

irsn.fr/R47



À LIRE
Faits et perspectives
La thèse est une occasion de nouer des partenariats



PODCAST
Faits et perspectives
Thèse sur l'impact des rayonnements sur la reproduction



À LIRE
Dossier
Examen du béton des bâtiments réacteurs



PODCAST
Faits et perspectives
Thèse sur la déformation des gaines de combustible



DIAPORAMA
Reportage
Incendie, panne, etc., les mesures pour améliorer la sûreté



PODCAST
Faits et perspectives
Thèse sur les effets secondaires d'une radiothérapie pulmonaire

Abonnement

POUR VOUS ABONNER : www.irsn.fr

Rubrique l'IRSN > Publications > Magazine Repères

Sommaire

En couverture : La centrale de Chinon (Indre-et-Loire), en cours de construction dans les années 1960. Voir le dossier sur le vieillissement, en page 10.

P.4 TEMPS FORTS

4^e réexamen de sûreté
Les réacteurs intègrent
les leçons de Fukushima



Failles actives
Une base de données pour évaluer
l'aléa sismique

P.6 FAITS ET PERSPECTIVES

Les thèses à l'IRSN
De l'atome à la Lune, la science avance

P.9 ZOOM

L'iode cerné

DOSSIER P.10

Repères 48, numéro spécial
Quelles avancées
10 ans après Fukushima ?

**Vieillesse
des centrales
Fonctionner en sûreté après 40 ans**

P.17 EN PRATIQUE

Sources radioactives
Protection contre la malveillance

P.20 INTÉRÊT PUBLIC

Des connaissances à acquérir
pour répondre aux citoyens



P.22 REPORTAGE

Irradiation industrielle
Stériliser en sûreté

© Noa/Le Bar Floreal/Médiathèque IRSN

Centrales Mieux analyser le vieillissement

Pour la poursuite de l'exploitation des centrales de 900 MWe au-delà de quarante ans, l'IRSN considère qu'EDF doit aller plus loin dans l'analyse du vieillissement, en complétant son plan d'actions.

Le dossier de ce numéro de *Repères* illustre ce dialogue technique de sûreté.

Les équipements non remplaçables essentiels – telle la cuve – sont surveillés de près.

Il faut aussi vérifier l'absence de vieillissement ou de dégradations inattendues de l'ensemble des autres composants importants pour la sûreté, dont certains sont peu accessibles : contrôle commande, câbles électriques, tuyauteries, etc.

Afin d'améliorer les connaissances sur les propriétés des matériaux utilisés – polymères, acier, béton, etc. –, l'Institut développe des moyens de contrôle non destructifs plus performants et s'appuie d'une part sur le retour d'expérience, d'autre part sur la recherche. L'anticipation, à travers ces deux aspects, nourrit l'expertise et le suivi des installations.

Karine Herviou

Directrice générale adjointe de l'IRSN

REPÈRES – Éditeur : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire - Membre d'Etson MEMBER OF **ETSON** – 31, avenue de la Division-Lederc, 92260 Fontenay-aux-Roses – Tél. : 01 58 35 88 88 – Site Internet : www.irsn.fr – Courriel : reperes@irsn.fr – Directeur de la publication : Jean-Christophe Niel – Directrice de la communication : Marie Riet-Hucheloup – Rédactrice en chef : Catherine Roulleau – Assistante de rédaction : Isabelle Cussinet – Ont collaboré à ce numéro : Agnès Dumas, Octavia Verry, Pascale Monti – Comité de lecture : Louis-Michel Guillaume – Rédaction et réalisation, maquette et direction artistique : ABG Communication – Iconographie : Sophie Léonard – Photos de couverture : © AGIP/Bridgeman Images ; © Florian Houalet/Ionisos – Impression : Handprint (50) – Imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement – ISSN : 2103-3811 et 2491-8776 (Web) – novembre 2020.


**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**
*Liberté
Égalité
Fraternité*

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Iode et population

La prise répétée d'iode renforce la protection

En cas de rejets d'iode radioactif, est-il possible de mieux protéger la population avec des prises répétées d'iodure de potassium (KI) ?

L'élément radioactif s'accumule dans la glande thyroïde et augmente le risque de cancer. « *Les accidents de Fukushima et de Tchernobyl le montrent : en cas de rejets répétés ou prolongés, une prise unique de KI – conforme à la prophylaxie en vigueur à l'époque – n'est pas une protection suffisante* », indique Marc Benderitter, spécialiste en radiopathologie.

Le chercheur coordonne pour l'IRSN le projet collaboratif Priodac.

Son objectif : déterminer de nouvelles modalités d'administration d'iode stable. Des études précliniques – pharmacologiques et toxicologiques – définissent une nouvelle posologie allongée à sept jours.

Elles devraient conduire, d'ici 2022, à une modification de l'autorisation de mise sur le marché pour les enfants, les adultes et les femmes enceintes.

WWW Pour en savoir plus : www.irsn.fr/Projet-Priodac

VIIEILLISSEMENT DES CENTRALES

39 ans

C'est l'âge moyen des 32 réacteurs de 900 MWe en septembre 2020.

200 000

Nombre d'heures consacrées par l'IRSN à l'expertise des réacteurs de 900 MWe pour le quatrième réexamen de sûreté (RP4), soit plus de 130 équivalents temps plein.

Retrouvez le dossier *Vieillessement des centrales* en page 10.

Sûreté



Le diesel d'ultime secours de la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux (Loir-et-Cher) contribue à renforcer la résistance de l'installation.

Quatrième réexamen de sûreté

Les réacteurs de 900 MWe intègrent les leçons de Fukushima

Arrêter la réaction nucléaire, refroidir le combustible et confiner la radioactivité sont les priorités en cas d'accident.

La fiabilité de ces opérations est examinée par l'IRSN lors du quatrième réexamen de sûreté des réacteurs de 900 MWe. L'exploitant souhaite prolonger de vingt ans le fonctionnement des centrales. L'avis de l'Institut alimentera la prise de position de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en 2021. De 2015 à 2020, près de 250 experts passent au crible plus de 40 thèmes de sûreté – du vieillissement à la gestion d'un accident – à partir des dossiers d'EDF, de leurs propres études et de visites sur le terrain.

Plus de robustesse

« *Ce travail s'applique aux 32 réacteurs de 900 MWe et aborde tous les sujets en enjeux : protection incendie, état des cuves, etc.* », décrit Emmanuel Raimond, expert en sûreté.

L'accident de Fukushima, intervenu au début des orientations du réexamen, souligne le besoin d'une meilleure protection des centrales contre les agressions externes.

Pour accroître l'efficacité des mesures dites « noyau dur » devant prévenir un accident grave en cas d'agression extrême – séisme, inondation... – et à en limiter les conséquences, l'IRSN formule des recommandations. Parmi elles, la configuration, pour certains réacteurs, d'une chambre d'étalement devant recueillir et refroidir le corium, magma constitué d'éléments de cœur fondus.

« *Chaque visite décennale fait progresser la sûreté* », souligne Olivier Loiseau, spécialiste du domaine. En réponse à une question de la société civile, l'IRSN confirme l'absence de risque d'incendie lié à l'interaction entre le corium et le béton en cas de fusion du cœur. L'expertise concerne aussi le déploiement, depuis 2013, d'une Force d'action rapide nucléaire (Farn), équipes mobiles d'EDF aptes à intervenir en vingt-quatre heures en cas d'accident. Un examen individuel des réacteurs sera réalisé jusqu'en 2030.

WWW Pour en savoir plus : Avis de synthèse de l'IRSN sur la phase générique du quatrième réexamen périodique de sûreté des réacteurs de 900 MWe www.irsn.fr/RP4-900-Synthese



Les failles proches du rayon de 50 km autour de deux installations nucléaires de bases.

Données BDFA © IRSN

“Évaluer l'aléa sismique est essentiel, au vu de la vulnérabilité de nombreuses infrastructures industrielles.”

Failles actives

Une base de données pour évaluer l'aléa sismique

Garantir la sûreté des installations à risques – centrales, barrages, industrie chimique, etc. – nécessite de tenir compte de l'aléa sismique*.

L'Institut vient de publier sur son site web la Base de données des failles potentiellement actives en France métropolitaine (BDFA). « Elle fournit des données qui permettent d'estimer la probabilité de survenue d'un séisme et sa magnitude », indique Julien Rey, ingénieur sismologue, utilisateur de cette base au Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) et au sein du ministère de l'Environnement (Direction générale de la prévention des risques, DGPR). « Son intérêt est de compiler des informations sur des

failles ayant eu une activité récente d'un point de vue géologique, il y a quelques millions d'années. » En accès libre, la BDFA intéresse les industriels et bureaux d'études, mais aussi le grand public curieux de géologie. Une carte interactive réunit des données publiées jusqu'en 2014 sur les failles possiblement sources de séismes. Elle liste leurs caractéristiques – tracé, profondeur, âge des déformations, etc. – et leur attribue un indicateur de « robustesse ».

* Probabilité d'occurrence d'un événement sismique d'une intensité donnée, pour un lieu géographique donné.

www Pour en savoir plus : <http://bdfa.irsn.fr>



La station observatoire du Rhône en Arles (Sora), dans les Bouches-du-Rhône.

© Olivier Seignette/Mikael Latorian/Médiateur IRSN

Pollution du Rhône au tritium

Vers des pistes de remédiation ?

Étudier les archives sédimentaires du Rhône pour reconstruire l'histoire de sa pollution au tritium, c'est l'une des ambitions du projet Trajectoire. Lancé en janvier 2020, il est piloté par l'IRSN. Le tritium organiquement lié (TOL) à des résidus de peintures a été relâché dans la seconde moitié du XX^e siècle par des ateliers d'horlogerie suisses et français des bassins du Haut-Rhône. Aujourd'hui, les scientifiques le retrouvent piégé dans les sédiments du fleuve.

Grâce à des carottages effectués sur divers sites du cours d'eau, ils calculent le temps qu'il faut à la teneur en TOL pour diminuer de moitié. La thèse d'Amandine Morereau

en déduit des temps de résilience : entre quatorze et vingt-huit ans en aval et jusqu'à soixante-dix ans en amont.

Une pollution durable et pour cause : « Il y a 1 000 à 10 000 fois plus de TOL dans les sédiments du Rhône que dans ceux d'autres rivières », indique Frédérique Eyrolle, experte en tritium.

L'approche socio-historique combine étude des archives et analyse mathématique pour comprendre le lien entre les relargages et les dépôts sédimentaires.

www Pour en savoir plus : Morereau A et al. (2020) *Journal of Environmental Radioactivity*, 106 370
Le projet Trajectoire www.irsn.fr/Projet-Trajectoire

Crise sanitaire

Des tests sur l'efficacité des masques

À la demande de l'Association française de normalisation (Afnor), l'IRSN participe, depuis le mois de mars 2020, à l'élaboration de tests d'efficacité de filtration des masques barrières. Il utilise et adapte ses installations servant à tester les équipements de protection individuelle contre la contamination radioactive ou chimique, basées à Saclay (Essonne).

Entre avril et juillet, l'Institut a satisfait une trentaine de demandes de caractérisation, nécessitant une centaine d'essais. Industriels, communautés de communes, associations, groupements de couturières... sollicitent son expertise pour évaluer la performance de leurs équipements.

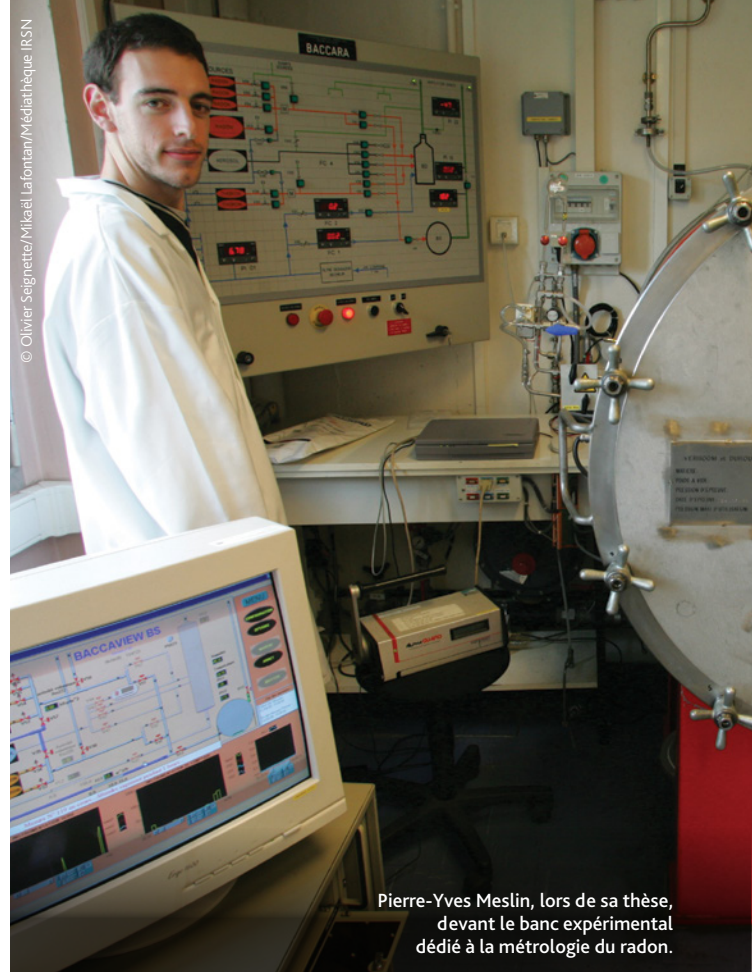
Les tests sont gratuits pour les fournisseurs dont les masques sont en matériaux d'origine tracée, suivent une production vertueuse – chantiers de réinsertion, cycles courts de fabrication et distribution – et affichent un prix raisonnable. D'autres travaux ont testé la désinfection par irradiation des protections à usage unique.

Résultat : les propriétés filtrantes des masques chirurgicaux sont préservées. Celles des FFP2 se dégradent.

FAITS ET PERSPECTIVES



Elif Oral (à gauche) a été récompensée pour sa thèse sur la propagation des ondes sismiques.



Pierre-Yves Meslin, lors de sa thèse, devant le banc expérimental dédié à la métrologie du radon.

Les thèses à l'IRSN

De l'atome à la Lune, la science avance

Étape obligatoire de la formation des jeunes chercheurs, la thèse est une opportunité pour mener des projets scientifiques prometteurs et réaliser des avancées concrètes.

Récit de trois doctorats menés à l'Institut. Leurs résultats font bouger les lignes.

En 2023, l'instrument de mesure français DORN s'envolera pour une mission lunaire. Une première. Il embarquera à bord de la sonde spatiale chinoise *Change 6*. Sa mission : y étudier le radon, un gaz radioactif. Conçu par Pierre-Yves Meslin au cours de sa thèse à l'IRSN entre 2005 et 2008, il a été sélectionné lors d'un appel d'offres du Centre national d'études spatiales (Cnes) et de l'agence spatiale chinoise.

Chaque année, l'Institut fournit l'encadrement et les moyens à une trentaine de thèses, en radioprotection et en sûreté. Une politique fructueuse : en trois ans, le doctorant fait progresser les connaissances, prépare son avenir professionnel et contribue au rayonnement scientifique de l'établissement (*lire article webmag*).

Le parcours de Pierre-Yves Meslin en est un bel exemple. Peu banal de surcroît, car c'est Mars que DORN – pas encore baptisé ainsi – devait explorer initialement ! Lors

de son doctorat, le scientifique cherche à savoir s'il y a du radon sur la planète rouge. Il fait parler les données non exploitées d'instruments de la Nasa et conçoit un « détecteur de radon ». « *J'ai obtenu plusieurs preuves de la présence de ce gaz sur Mars* », raconte-t-il. Sa découverte inaugure un champ de recherche dans l'exploration martienne. Cela lui vaut le prix *Le Monde* de la recherche universitaire en 2009.

Ce travail intéresse les planétologues et rejoint les questionnements de l'Institut en radioprotection : transfert des radionucléides dans les sols et milieux poreux, circulation de l'aérosol atmosphérique et cartographie des émanations du radon.

Depuis, l'instrument a changé de trajectoire. « *Le détecteur conçu pour Mars n'a jamais pu y aller. J'ai imaginé une version adaptée à la Lune* », résume le scientifique. DORN est né. Sa thèse a ouvert des perspectives grâce à sa pluridisciplinarité : planétologie, géophysique, etc. Après

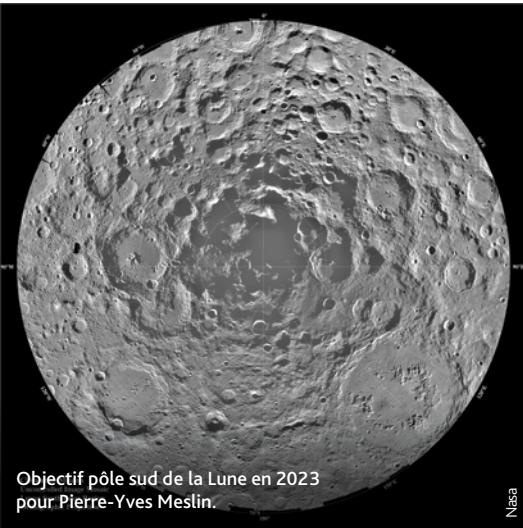
deux post-doctorats à Jussieu (Paris), il poursuit sa carrière à l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (Irap) de Toulouse (Haute-Garonne).

Rien d'illogique pour son tuteur de doctorat, Jean-Christophe Sabroux : « *Le prolongement d'une thèse dans un domaine éloigné – la planétologie – montre qu'un doctorat à l'IRSN ne réduit pas l'avenir professionnel au seul secteur nucléaire.* »

Croiser les savoirs

La pluridisciplinarité est au cœur d'un autre doctorat marquant. Cette fois, la sismologie et la modélisation numérique se conjuguent pour faire avancer la sûreté.

Entre 2013 et 2016, Elif Oral étudie la propagation des ondes sismiques dans des bassins sédimentaires, dont la géométrie complexe amplifie et allonge la durée des secousses, phénomènes dénommés « effets de site ». Elle analyse des données sismologiques issues de sites américains



Objectif pôle sud de la Lune en 2023 pour Pierre-Yves Meslin.

(Californie), grecs (Volvi) et japonais (Kushiro, Onahama) et travaille sur un bassin hypothétique, représentatif de Grenoble ou de Los Angeles, par exemple. But : mieux évaluer l'aléa sismique, en tenant compte des spécificités géologiques locales. Les enjeux de protection civile et sûreté nucléaire sont importants, car plusieurs villes – Grenoble, Tokyo, Los Angeles – et certaines centrales sont construites sur ce type de sol.

Pour mieux prendre en compte ces situations, la chercheuse développe un outil numérique. Il résout la propagation des ondes dans de tels milieux et intègre l'effet de surpression de l'eau dans le sol. « Pour la première fois, nous avons implémenté la prédiction du mouvement sismique en milieu complexe et non linéaire », observe le sismologue Luis Fabian Bonilla, son directeur de thèse.

Elif Oral se souvient avoir été soutenue. « Des chercheurs d'autres disciplines, ingénieurs, géologues, m'aidaient. » Elle participe à des conférences en France et en Europe. Aujourd'hui, elle envisage un post-doctorat aux États-Unis.

Une centaine de doctorants

D'autres thèses en sûreté ont permis des avancées. Entre 2011 et 2014, Alice Dufresne s'intéresse à un des phénomènes physiques fragilisant les gaines en alliage de zirconium qui entourent les pastilles de combustible au cœur du réacteur.

83%

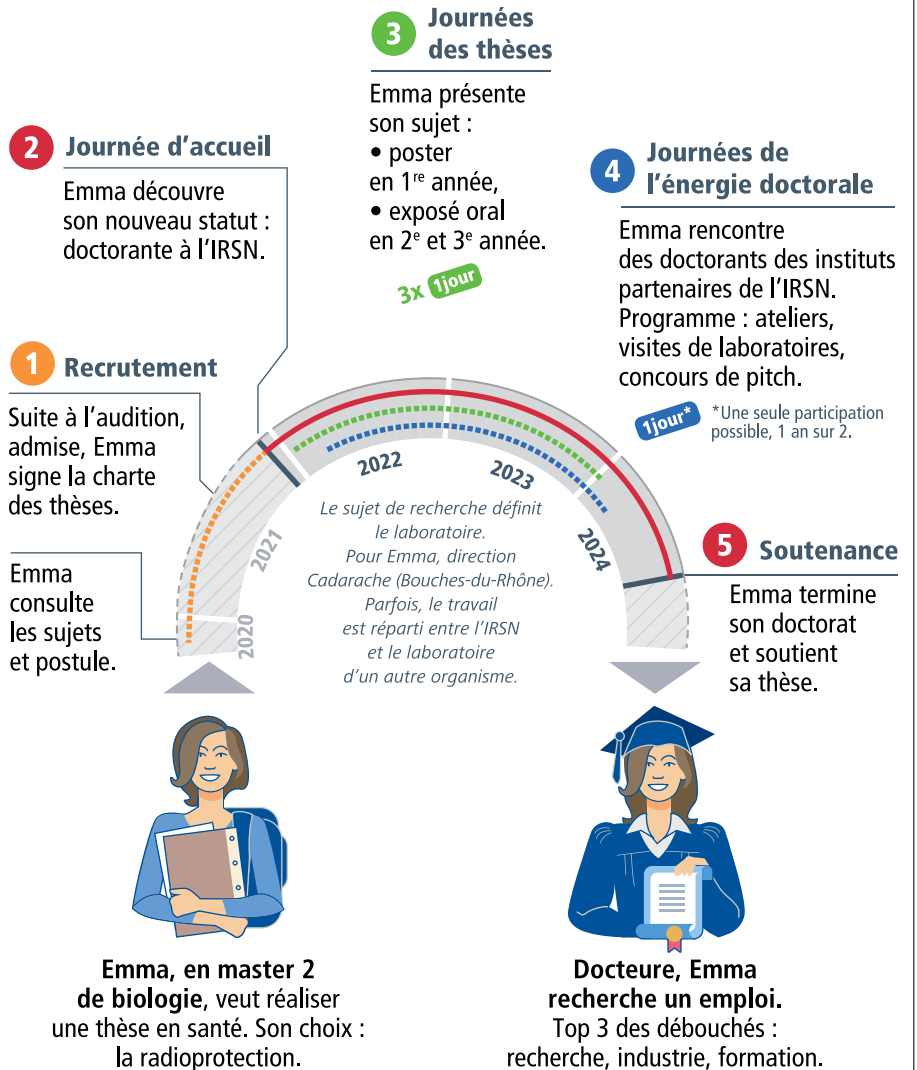
des doctorants de l'IRSN trouvent un emploi dès la première année après la soutenance.

Doctorats soutenus entre 2007 et 2015

PROCESS

Doctorat à l'IRSN : les étapes-clés du parcours

Une thèse, c'est trois années de formation à la recherche et un tremplin pour l'avenir. Comment l'IRSN accompagne-t-il ses doctorants ? Les étapes-clés de ce parcours et les dispositifs mis en place.



L'accompagnement privilégié la formation, le réseau, la communication



Formations

- avec l'Association Bernard Gregory : réseau, rédaction (thèse, article scientifique)
- avec l'université interne : « Place des PhD », « Devenir professionnel », « Ouverture à la société »...



Vie associative

- Ad'i[N] et l'Asthec, aident à créer un réseau :
- événements scientifiques
 - sorties culturelles
 - rencontres sportives
- www.adinasso.com
www.asthec.org



Concours d'éloquence

Un défi : être clair, attrayant et vulgariser sans dénaturer... le tout en trois minutes. Une formation a lieu en amont.

www.irs.fr/these-3min

PODCAST

Ma thèse en connaît un rayon

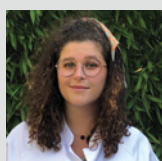
irsn.fr/R47



Élisabeth Dufourcq-Sekatcheff
L'impact des rayonnements sur la reproduction



Ethel-Borel Djeumen Nkwechen
La déformation des gaines de combustible



Sarah Braga-Cohen
Les effets secondaires d'une radiothérapie pulmonaire

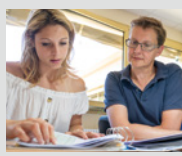
« Jusqu'à ma thèse, le processus était peu connu au niveau atomique », raconte-t-elle. Pendant trois années, elle modélise les hydrures de zirconium à cette échelle et étudie comment divers facteurs extérieurs – température, contraintes mécaniques, etc. – influencent ce phénomène. Un travail poursuivi depuis par d'autres doctorants. Sa formation par la recherche est un tremplin : elle a depuis rejoint l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE).

Que les jeunes chercheurs poursuivent ou non leur carrière scientifique après la thèse, leur passage à l'Institut influence leur parcours. Les occasions de s'ouvrir à d'autres disciplines ou perspectives ne manquent pas, telles les journées des thèses.

« Chaque année, une centaine de doctorants œuvre dans nos laboratoires en sciences du vivant, génie civil, mathématiques ou encore sciences de l'ingénieur », précise Céline Dinocourt, chargée de mission formation par la recherche. Autant d'opportunités de faire avancer les connaissances. ■

WWW Pour en savoir plus :
Les thèses à l'IRSN www.irsn.fr/Theses
Contact : Céline Dinocourt
celine.dinocourt@irsn.fr

À LIRE



La thèse est une occasion de nouer des partenariats

www.irsn.fr/R47

En quoi les thésards font-ils avancer la recherche à l'IRSN ?

Les doctorants contribuent au fonctionnement de nos laboratoires et à l'avancement de nos recherches. En 2015, le Laboratoire de radiobiologie des expositions médicales a acheté un équipement d'irradiation dédié au petit animal (Sarrp*). Physicienne, Morgane Dos Santos a mis en place un modèle d'irradiation du poumon. Une doctorante l'a utilisé en premier pour évaluer les lésions post-irradiation. Ses résultats nous permettent de construire de nouveaux projets,

avec les bons modèles en termes de dose de rayonnements ou de temps d'observation.

En quoi consiste l'encadrement ?

Une thèse est bénéfique au laboratoire et aux doctorants. Il est capital de les encadrer et de les impliquer au sein de l'équipe. Au laboratoire, je partage des manipulations avec eux et fixe des réunions pour suivre l'avancement du travail. Être à leurs côtés au quotidien facilite le dialogue,

ils évoquent leurs difficultés. Cette relation humaine, importante, mérite autant d'attention que des résultats scientifiques !

Qu'est-ce que cela vous apporte ?

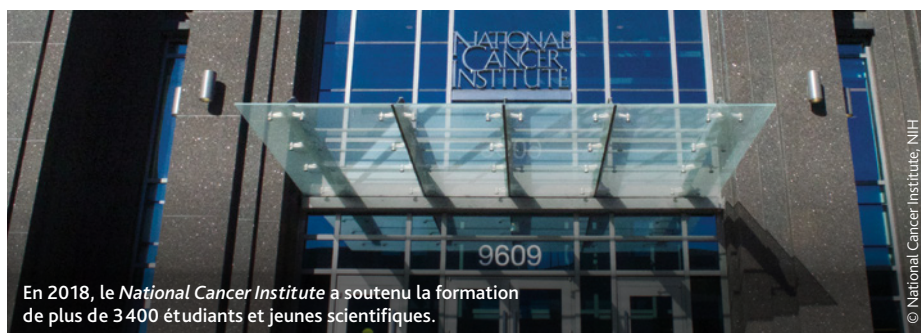
Voir les projets avancer et le doctorant soutenir est une fierté. Certes, l'encadrement fait partie de mon travail, mais c'est plus qu'une mission. Il ouvre des réflexions, des questions... J'apprécie le volet formation, conséquent en première année. Par la suite, le thésard évolue, prend ses décisions... C'est un passage de flambeau.

* Small animal radiation research platform, www.irsn.fr/SARRP

3 questions à...

Agnès François

Experte en radiobiologie, tutrice de plusieurs thèses



En 2018, le *National Cancer Institute* a soutenu la formation de plus de 3 400 étudiants et jeunes scientifiques.

AILLEURS

États-Unis : une autre culture du doctorat ?

En 2019, Marie-Odile Bernier, médecin spécialiste de radioprotection à l'Institut, passe huit mois au *National Cancer Institute* à Washington (États-Unis). Au sein d'un service d'épidémiologie, un constat la frappe : il y a moins de doctorants que de post-doctorants. « Ils préfèrent les post-docs. Ils ont besoin de "bras". Pendant mon séjour, j'ai vu seulement une doctorante », observe-t-elle. L'épidémiologiste précise que son expérience n'est peut-être pas représentative. Néanmoins, la culture

de la recherche outre-Atlantique lui semble différente. « Les Américains ont une façon singulière de procéder : chacun travaille seul, puis les collègues commentent. En France, c'est l'inverse, les résultats sont d'emblée analysés en équipe. » Ces observations tranchent avec le fonctionnement de l'IRSN, qui compte un grand nombre de doctorants et où la formation tient une place centrale. « Cette richesse frappe particulièrement lors des journées des thèses, où sont abordés de nombreux sujets, toutes disciplines confondues », souligne-t-elle.

L'iode cerné

Faire parler les arbres, lire entre les lignes ou plutôt... entre les cernes.

Les scientifiques plongent au cœur des écosystèmes forestiers et y analysent le cycle de radionucléides. Couvrant un tiers des continents, les forêts interceptent et recyclent divers contaminants.

Les arbres – tel le cèdre du Japon (*Cryptomeria japonica*) de cette photo – sont une composante très étudiée. Le but des chercheurs est d'établir des modèles. Ces derniers évalueront – en cas de rejets de substances radioactives – les conséquences

de la dissémination de radionucléides sur l'homme et dans l'environnement.

Ils déterminent la quantité, la répartition et les flux d'iode dans les différentes composantes – arbre, litière, humus, sol – d'une cinquantaine de forêts de l'Hexagone. Leurs travaux désignent le sol comme étant son principal réservoir. Il en stocke 99,9%. Comprendre la dissémination de la forme stable de l'iode est la clé pour anticiper les flux de son isotope radioactif à vie longue, l'iode 129. Ce dernier constitue un risque radiologique en cas de fuite depuis les

Marine Roulier

Chercheuse en chimie analytique environnementale

zones de stockage à long terme des déchets dans les formations géologiques.

Ces résultats sont issus d'une thèse menée au Laboratoire de recherche sur les transferts des radionucléides dans les écosystèmes terrestres (LR2T). Ils s'inscrivent dans le cadre du programme de recherche Amorad. Coordonné par l'IRSN, il a été initié sur les forêts nippones après l'accident de Fukushima, pour analyser le recyclage du césium 137. Cette thèse étend Amorad au cycle biogéochimique de l'iode dans ces écosystèmes en France. ■



La centrale nucléaire de Chinon (Indre-et-Loire), en cours de construction. Mise en service en 1964, ses réacteurs sont remplacés vingt ans plus tard par quatre autres, à eau pressurisée.

200 000

Nombre d'heures consacrées par l'IRSN à l'expertise des réacteurs de 900 MWe pour le quatrième réexamen de sûreté (RP4).

Vieillissement des centrales Fonctionner en sûreté après 40 ans

Trente-deux réacteurs de 900 MWe vont atteindre l'âge de 40 ans dans les années à venir. En 2021, sur la base des avis de l'IRSN élaborés à l'occasion du quatrième réexamen périodique, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) se prononcera sur la poursuite de leur exploitation. Illustration du dialogue technique sur des thèmes clés : la cuve, l'obsolescence et la résistance des aciers.

Générateurs de vapeur, enceinte de confinement... tous les dix ans, le réexamen de sûreté est l'occasion d'une analyse approfondie des composants essentiels du réacteur. Ainsi, le vieillissement des centrales est surveillé par EDF en continu et expertisé par l'IRSN.

Dans le cadre du quatrième réexamen périodique (RP4 900), en lien avec les orientations définies par l'ASN, EDF vise deux objectifs : se rapprocher du niveau de sûreté fixé pour les réacteurs récents, tel

l'EPR de Flamanville (Manche), et intégrer les enseignements de l'accident de Fukushima (Japon) en 2011. Pendant trois ans, les experts rédigent une quarantaine d'avis. Ils concluent, fin mars, que le programme d'EDF devrait lui permettre de répondre à ces objectifs partagés, sous réserve des demandes de compléments au dossier et de modifications d'installation, que l'opérateur s'est engagé à réaliser pour la plupart. Dans cet article, *Repères* aborde le thème du vieillissement sous deux angles : les cuves et l'obsolescence.

EN CLAIR

Les zones sensibles au vieillissement des réacteurs*

Pour garantir la sûreté des installations, il est crucial de maîtriser le vieillissement de leurs réacteurs. Le point sur les principales recommandations de l'IRSN à l'issue du quatrième réexamen périodique (RP4).

1 Enceinte de confinement

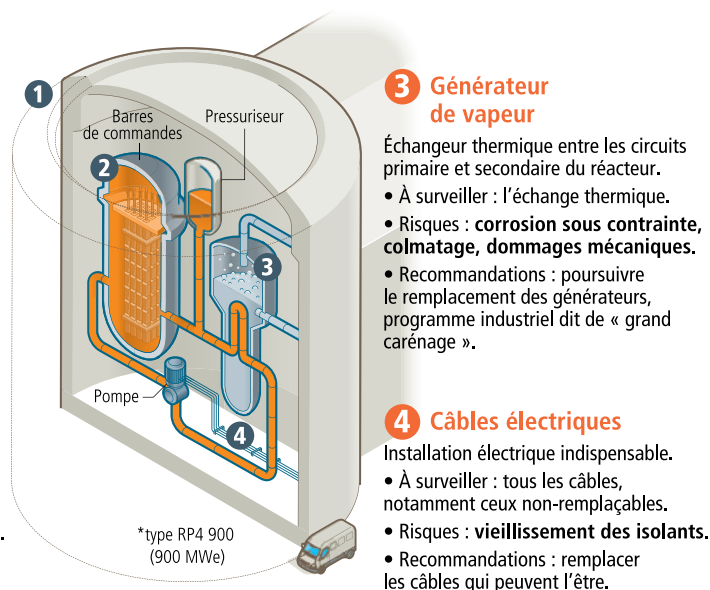
Paroi en béton revêtue d'acier.

- À surveiller : paroi en béton revêtue d'acier (liner).
- Risques : **perte de précontrainte, corrosion.**
- Recommandations : surveiller l'intégrité du liner.

2 Cuve

En acier très épais, elle contient le cœur du réacteur.

- À surveiller : paroi d'acier, 25 cm d'épaisseur environ.
- Risques : **fragilisation par irradiation, dommages mécaniques.**
- Recommandations : contrôles non destructifs, finalisation des études.



3 Générateur de vapeur

Échangeur thermique entre les circuits primaire et secondaire du réacteur.

- À surveiller : l'échange thermique.
- Risques : **corrosion sous contrainte, colmatage, dommages mécaniques.**
- Recommandations : poursuivre le remplacement des générateurs, programme industriel dit de « grand carénage ».

4 Câbles électriques

Installation électrique indispensable.

- À surveiller : tous les câbles, notamment ceux non-remplaçables.
- Risques : **vieillissement des isolants.**
- Recommandations : remplacer les câbles qui peuvent l'être.

Risque de rupture de cuve

La rupture des cuves n'est pas postulée dans la démonstration de sûreté.

L'expertise de l'Institut pointe les mécanismes susceptibles d'affecter les cuves et les mesures à prendre pour les maîtriser. « *Il est capital de savoir si l'ensemble des cuves des 32 réacteurs français de 900 MWe vont pouvoir continuer à fonctionner en sûreté encore dix, voire vingt ans pour certaines. Nous précisons à quelles conditions les réacteurs pourront continuer à être exploités, suivant les caractéristiques de leurs cuves : présence ou non de défauts, état des matériaux, propriétés, etc.* ». Expert en sûreté des équipements et structures à l'Institut, Olivier Loiseau résume ainsi l'analyse fournie par EDF



Contrôles du dôme du bâtiment réacteur numéro 1 de l'unité de la centrale de Golfech (Tarn-et-Garonne).

© EDF - La mission communication de Golfech



Suite à une fuite d'eau, le béton du plancher de la centrale de Nogent-sur-Seine (Aube) a été arraché (événement significatif de 2006).

© Céline Picot / IRSN

“ Nous précisons à quelles conditions les réacteurs pourront continuer à être exploités.

sur le risque de rupture brutale. Résultat d'un travail mené entre 2018 et 2020 par huit spécialistes – quatre en résistance des matériaux et quatre en thermo-hydraulique – l'expertise de l'IRSN répond à une demande d'avis de l'ASN dans le cadre du RP4 900. L'approche pluridisciplinaire est choisie pour permettre aux spécialistes d'identifier ensemble les cas les plus pénalisants. Un travail capital, car la cuve contribue au confinement des matières radioactives (voir infographie p. 11). La durée de vie d'un réacteur dépend de sa capacité à fonctionner en sûreté.

Irremplaçable et surveillée

Une pression atteignant 155 fois la pression atmosphérique et une température de 300 °C : la cuve est exposée à des conditions sévères. Non remplaçable, elle subit une irradiation neutronique – fluence – importante, notamment au niveau de ses parois cylindriques, les viroles de cœur. Cela induit un vieillissement des matériaux, appelé fragilisation par l'irradiation.

La cuve est conçue pour éviter un tel risque de rupture. Les propriétés de l'acier sont surveillées et son intégrité inspectée lors des visites décennales. La réunion de trois facteurs augmente le risque de rupture : un défaut, un matériau fragilisé et un chargement important (variations de température ou de pression). La surveillance d'EDF vise à éviter un tel scénario. Les études de rupture brutale consistent à supposer la coïncidence de ces trois

350

points de mesure sont réalisés afin d'estimer la fragilisation des cuves pour les seuls essais de ténacité.

facteurs et à évaluer si la cuve résisterait en pareil cas. Sur la base des analyses et données de l'industriel, les experts de l'IRSN effectuent leurs propres calculs et les comparent à ceux de l'exploitant. Ils cherchent à identifier des situations non prises en compte : variations de température atypiques, phénomènes physiques non considérés jusqu'ici dans les études de l'énergéticien, etc.

Étudier le risque mécanique

Au cœur de ces réflexions, la résistance de l'acier des parois.

Pour calculer le risque de rupture, EDF intègre deux éléments : l'estimation de la fragilisation due à l'irradiation et les défauts détectés lors des contrôles de la cuve. Sur le premier point, l'IRSN juge ses mesures adéquates. Pour évaluer l'aptitude au service de la cuve pendant dix, voire vingt ans supplémentaires, il est impératif d'analyser l'irradiation subie pendant les quarante premières années. « Des dosimètres sont placés à l'intérieur et la mesurent », précise Olivier Loiseau.

Résultat : l'irradiation est en moyenne inférieure à l'hypothèse initiale de l'exploitant, laquelle prévoyait une fluence de l'ordre de $5,5 \cdot 10^{19}$ neutrons/cm² au bout de quarante ans.

Concernant les défauts, l'expertise est plus nuancée. Au cours des années 1990, une trentaine sont repérés sur huit cuves construites avant 1979. La centrale du Tricastin (Drôme) est concernée. Il s'agit de « défauts sous revêtement ». Ils sont situés dans le métal, juste sous cette enveloppe interne en acier inoxydable. Ils se sont formés pendant la fabrication, au moment de la pose du revêtement par soudage.

Si les analyses sont globalement satisfaisantes, EDF doit vérifier l'absence de nouveau défaut ou l'absence d'évolution des défauts de fabrication sur les cuves de chaque réacteur.

Afin de ralentir le vieillissement, le producteur d'énergie a ajouté un nouveau dispositif : les grappes hafnium. « Elles agissent comme des éponges à neutrons », résume Cédric Laville. Cet expert en sûreté des cœurs de réacteurs mène, avec le spécialiste des matériaux Min Bao Lè, une évaluation de leur efficacité. Leur conclusion : les grappes limitent l'irradiation de la cuve et ralentissent jusqu'à 45% environ son vieillissement aux points « chauds ». Avec l'ajout de ce dispositif, l'exploitation en sûreté d'un réacteur passe de six à dix ans.

« Il est expérimenté à la centrale du Tricastin [article ci-contre]. Il sera étendu à toutes celles de 900 MWe en fonctionnement depuis quarante ans », précise Emmanuel Lemaire, pilote stratégique du vieillissement des cuves.

Reste une question clé : quelles circonstances exacerbent le risque de rupture ? Pour répondre, EDF mène des études visant à identifier les conditions les plus à risque pour la cuve, en fonctionnement normal et en situation accidentelle.

Trente scénarios étudiés

L'entreprise identifie une trentaine de scénarios de variations de température et de pression. L'analyse de l'IRSN doit vérifier qu'aucun n'a été oublié et que les variations de pression et de température associées sont bien prises en compte.

Une approche pluridisciplinaire est mise en place au sein de l'Institut : les apports de la mécanique s'enrichissent de ceux de la thermo-hydraulique. Un outil développé dans ce but évalue les conséquences des variations de ces paramètres physiques sur l'acier de la cuve, en tenant compte des caractéristiques du matériau, son vieillissement et ses défauts. Il identifie les transitoires thermiques – un changement de température bref et le plus souvent d'ampleur significative – et contextes de refroidissement les plus critiques, en considérant notamment des phénomènes physiques non retenus par EDF.

Identifier les situations à risque

Les scénarios de brèche primaire sont examinés attentivement. « L'ajout du liquide froid dans le circuit primaire – injection de sécurité – est une des situations induisant le plus de risques, indique Caroline Heib, experte en thermo-hydraulique. Lorsqu'il coule contre la paroi de la cuve, il crée un front froid qui se propage dans le matériau, alors que la cuve peut encore être à une pression élevée. »

À l'issue de son analyse, l'IRSN considère que les cuves des réacteurs de 900 MWe sont aptes au service jusqu'à cinquante ans, sous réserve des justifications complémentaires attendues pour certaines cuves. La possibilité d'un fonctionnement au-delà de cinquante ans sera examinée au prochain

réexamen de sûreté et prendra en considération l'intensité de l'irradiation subie et des éventuels défauts.

Compte tenu des mécanismes fragilisant la cuve, EDF a pris des mesures de prévention et de surveillance, qui lui permettront d'envisager un fonctionnement des réacteurs de 900 MWe au-delà de cinquante ans, sous réserve d'une nouvelle analyse.

L'IRSN souligne l'importance d'un suivi du vieillissement apte à faire ressortir les particularités des différents réacteurs (lire article p. 14). ■



Grappes de la cuve d'un réacteur de la centrale de Cattenom (Moselle).

FOCUS

900 MWe

Grappes hafnium : risque écarté

Un nouveau dispositif limitant l'impact de l'irradiation sur le vieillissement de la paroi des cuves va être déployé sur l'ensemble des centrales de 900 MWe. Il est expérimenté dans la centrale du Tricastin (Drôme) depuis un an. Il s'agit de grappes en hafnium – un métal capable d'absorber les neutrons (lire l'article ci-contre) – positionnées en périphérie du cœur du réacteur, dans les secteurs de la cuve les plus exposés au rayonnement. Experts et chercheurs évaluent l'éventuel risque que pourrait occasionner ce dispositif. « Nos travaux montrent, qu'en situation d'accident, l'hafnium s'oxyde peu et n'influence pas la température

dans la cuve », résume Séverine Gilbert, chercheuse en matériaux.

Face au peu de littérature sur l'oxydation de cet élément, scientifiques et techniciens en matériaux et accidents conduisent une quarantaine de tests.

Le principe : placer un échantillon d'hafnium sous vapeur dans une thermo-balance – four couplé à une balance de précision – et mesurer sa prise de masse en temps réel.

Les résultats montrent que l'oxydation est très limitée, et ce jusqu'à 1600°C, et n'entraîne pas une augmentation significative des températures au voisinage des grappes de métal.

Il n'y a donc pas de risque de dégradation.

Le vieillissement des matériels est suivi au plus près

Un plan d'actions pour renforcer l'analyse du vieillissement, installation par installation, est mis en place par EDF à la suite des recommandations de l'IRSN. Objectif : affiner le suivi des sites face à l'obsolescence des matériels.

Cuve, câbles électriques, tuyaux, robinetterie... tous les composants d'une centrale nucléaire vieillissent. Depuis les troisièmes visites décennales, le processus de maîtrise du vieillissement est analysé par l'IRSN en vue d'une éventuelle prolongation de l'activité des réacteurs de 900 MWe au-delà de quarante ans. Si le processus est globalement maîtrisé, grâce à une démarche initiée dans les années 1980, l'Institut met néanmoins en lumière le besoin d'en renforcer certains aspects, dont le traitement du retour d'expérience (REX).

Un vieillissement inégal

« Les spécificités de chaque installation – la source de refroidissement du réacteur, son lieu d'implantation, le type de composants utilisés, etc. – influencent son vieillissement. Autant d'éléments qui doivent faire l'objet d'analyses spécifiques », observe l'expert en sûreté nucléaire Marc Le Calvar, qui a travaillé sur le dossier entre 2015 et 2018.

Les 18 centrales en activité – pourvues de réacteurs à eau sous pression – construites sur le même mode, n'ont pas le même âge. Au gré des maintenances et des réparations, des différences technologiques apparaissent. Des composants sont remplacés sur certains sites, pas sur d'autres. Leur vieillissement dépend du contexte local. L'acier noir et le béton, par exemple, sont davantage exposés à la corrosion en bord de mer. Pour l'Institut, ces éléments sont à prendre en compte pour évaluer les besoins en maintenance de chaque réacteur. Sur ces points, EDF



David Girardeau, expert sûreté, et une inspectrice de l'ASN lors d'une inspection du système d'alimentation de secours en eau de la centrale du Blayais (Gironde).

a déjà amélioré sa démarche d'analyse du vieillissement. D'autres mécanismes, telle la corrosion atmosphérique, doivent être mieux appréhendés.

Les composants aussi ont leurs particularités. Dans les réacteurs du Bugey (Ain), certaines vis sur l'enveloppe des internes de cœur, dans les rangées inférieures, ne sont pas spécifiquement surveillées. Si les études de sûreté tiennent déjà compte de quelques dégradations, l'IRSN préconise qu'EDF examine la possibilité de contrôler leur état.

500 fiches génériques

L'Institut identifie en outre le besoin de compléments et de clarifications concernant des structures, systèmes et composants qui ne font pas l'objet d'un dossier d'aptitude à la poursuite d'exploitation¹ (Dape) : tube de transfert des assemblages du combustible entre les piscines du bâtiment réacteur et du bâtiment combustible, revêtement en plastique des piscines, tuyauteries des systèmes de sauvegarde, etc. Au cours du dialogue technique, EDF s'est engagé à mener des améliorations ciblées.

Comment traiter encore mieux les REX de chaque installation ? Adaptée à un parc standardisé par paliers², « la démonstration de sûreté d'une installation s'appuie sur une documentation générique », observe Marc Le Calvar. Les services centraux d'EDF transmettent aux sites des fiches d'analyse du vieillissement (FAV) : environ 500 couvrent tous les composants d'un type d'installation. Les équipes en place examinent leurs matériels et s'assurent que l'objectif de surveillance demandé est rempli.

Les composants requérant une démonstration de robustesse supplémentaire – cuve, générateur de vapeur, etc. – sont traités par des notes complémentaires. Une douzaine est disponible et mise à jour à l'occasion du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe. Le résultat de cette analyse figure dans un Dape de tranche, adressé à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et à l'Institut.

Si la démarche est globalement satisfaisante, l'IRSN regrette sa centralisation et considère que les spécificités de chaque installation ne sont pas parfaitement prises en compte. Les sites suivent le canevas défini par les services

EN CLAIR

Pour préserver la sûreté, les composants obsolètes sont remplacés

Exemple fictif d'un capteur d'un système de sauvegarde du réacteur. L'IRSN expertise les actions entreprises par EDF pour remplacer le capteur qui n'est plus fabriqué : qualification d'un nouveau modèle, installation et mesures pour assurer la sûreté.

①

Le capteur de pression devient obsolète

- **Risques ?** Fonctionnement dérogatoire avec un capteur non-qualifié, ou pas totalement qualifié.
- **Pourquoi ?** Le fabricant abandonne le modèle traditionnel et propose un capteur « intelligent », électronique.

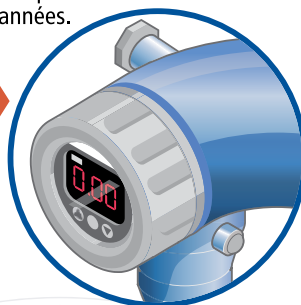


Le capteur mesure la pression dans le circuit primaire des réacteurs à eau pressurisée (REP).

②

Le nouveau modèle est qualifié

Ce processus peut durer plusieurs années.



③

Les capteurs sont remplacés, le risque réévalué

- **Quand ?** À l'occasion des arrêts de la centrale, l'IRSN expertise le protocole de remplacement d'EDF.
- **Pourquoi réévaluer l'obsolescence ?** Les objets « intelligents » ont une vie commerciale plus courte.
- **Éviter le risque à venir ?** Exemple : signer un contrat de pérennisation avec le fournisseur, constituer des stocks pour la durée d'exploitation restante.

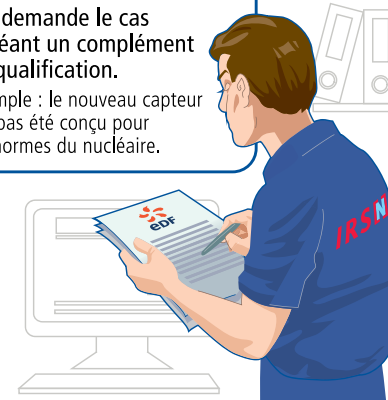
Rôle d'EDF

- Il l'étudie et le teste sur un banc d'essais pour valider son efficacité.
- Il analyse le fonctionnement du système électronique embarqué pour écarter le risque de défaillance.



Rôle de l'IRSN

- Il analyse le dossier de qualification d'EDF.
 - Il demande le cas échéant un complément de qualification.
- Exemple : le nouveau capteur n'a pas été conçu pour les normes du nucléaire.



centraux, sans intégrer l'ensemble du REX local. Depuis 2018, pour plus de lisibilité de sa documentation et des spécificités de chaque site, EDF a engagé une réflexion locale et nationale. Elle aboutit en 2020 à la mise en application d'un nouveau guide de rédaction des Dape de tranche. Sa philosophie ? Le dossier n'est plus structuré par la documentation générique, mais par la liste exhaustive des matériels éligibles de la tranche à examiner (cuve, câbles...) selon leurs particularités et les données génériques disponibles.

Une analyse des spécificités

L'analyse se décompose en fonction des matériels et des spécificités de tranche. « Nous testons cette nouvelle démarche avec certaines centrales tout au long de l'année 2020, précise Didier Jouhanneau,

qui coordonne ces actions chez EDF. Nous aurons le résultat d'ici deux à trois ans. »

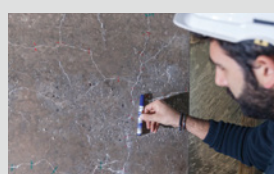
Cette approche nouvelle nécessite de comparer les fiches génériques, identifiant les équipements par fournisseur, et les matériels réellement installés sur une tranche, identifiés par un repère fonctionnel. Des aménagements pas toujours simples, le vieillissement concernant aussi des matériels foisonnants, tels des câbles ou équipements électroniques qui ne font pas tous l'objet d'un repère fonctionnel.

« Certaines équipes vont devoir adapter leur organisation », anticipe Didier Jouhanneau. Un programme d'actions était défini localement jusqu'alors pour dix ans.

Il sera désormais revu tous les ans. « Des événements survenus sur site entre deux réexamens de sûreté seront mieux intégrés à la démarche de maîtrise du vieillissement. » ■

1. Une structure, un système ou un composant pour lequel la maîtrise du vieillissement ne peut être établie – réparation et remplacement difficiles – fait l'objet d'un dossier approfondi (Dape composants).
2. Les installations sont classées en cinq catégories appelées paliers.

À LIRE



Examen du béton des bâtiments réacteurs

www.irsn.fr/R47



1 Joseph Huret (à gauche), chercheur en mécanique et matériaux, et un stagiaire retirent l'échantillon du four pour accéder au centre d'EVA, la machine de fatigue.

2 Une éprouvette neuve (à droite) et une rompue suite aux essais menés sous air, à 230 °C.

REPORTAGE Mieux évaluer la résistance des aciers du circuit primaire pour vérifier leur intégrité pendant leur durée de vie, c'est l'objectif des essais menés au sein du dispositif expérimental EVA (Étude du vieillissement des aciers). Des paramètres de fatigue sont testés. Visite à Cadarache (Bouches-du-Rhône).

Recherche

EVA met l'acier à l'épreuve

Avec ses 2,3 mètres de haut et son nom d'actrice de cinéma, EVA (Étude du vieillissement des aciers) est un dispositif expérimental rare. Il a fallu près de cinq ans aux chercheurs du Laboratoire d'expérimentation en mécanique des matériaux (LE2M) et du Laboratoire de réalisation d'équipements expérimentaux (LR2E), situés tous deux à Cadarache, pour mettre au point cette « machine de fatigue ».

EVA combine deux fonctionnalités complexes à réunir : elle soumet des échantillons d'acier à diverses déformations et reproduit le milieu du circuit primaire principal (CPP) des installations nucléaires. Elle teste ainsi leur résistance à un environnement sévère qui – en ajoutant de la corrosion à une fatigue mécanique – peut réduire d'un facteur cinq la durée de vie d'un acier.

Objectif ultime : anticiper son vieillissement. Une mission clé, alors que l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé à EDF – désireux d'exploiter ses réacteurs de 900 MWe au-delà de quarante ans – de mieux prendre en compte l'impact de l'environnement sur la dégradation des matériaux du CPP.

300 °C, 155 bars : l'enfer...

Sur la plateforme expérimentale Maestro de Cadarache, où se trouve la salle d'essais accueillant EVA, Walter-John Chitty et Joseph Huret, chercheurs en fatigue des matériaux, insèrent dans la machine un échantillon d'acier, dit « éprouvette ». Sa forme rappelle celle d'un sablier. Elle est immergée dans

une eau à 300 °C, maintenue à l'état liquide grâce à une pression de 155 bars et rendue très corrosive par l'acide borique*.

Malgré sa petite taille, EVA est un dispositif lourd à manipuler. L'éprouvette en place, il faut plusieurs opérations pour fermer les deux couvercles pesant près de 70 kg chacun.

La machine entre alors en action et teste l'effet sur l'acier d'une série de paramètres mécaniques et chimiques : pression, géométrie, état de surface, température, etc. Ceux-ci sont issus du projet Incefa-Plus (2015-2020), soutenu par le programme européen Horizon 2020, auquel l'IRSN collabore avec quinze autres centres de recherche internationaux. Les essais ont démarré début 2019 en air – pour Incefa-Plus – et en 2020 en milieu CPP. La phase de conception du dispositif et de ses protocoles a déjà permis d'avoir un recul critique sur les résultats expérimentaux présentés par EDF pour étayer sa démarche de sûreté. Elle fait par exemple apparaître la nécessité d'intégrer les incertitudes expérimentales et les erreurs de reproductibilité dans les résultats d'essais. ■

* L'acide borique est ajouté à l'eau du circuit primaire pour sa capacité d'absorption des neutrons. La lithine, une base corrosive, corrige l'acidité générée par l'acide borique.

www Pour en savoir plus :
Incefa-Plus programme overview and update, Mottershead, Bruchhausen, Metais and Cicero, 2017
Programme Fugue – État de l'art et proposition de programme, Réf IRSN/2020-00073

■ BIBLIOGRAPHIE

Publication de l'avis de synthèse de l'IRSN sur la phase générique du RP4 900
www.irsn.fr/RP4-900-Synthese

Avis et rapports Réexamen de sûreté associé aux quatrième visites décennales des réacteurs nucléaires de 900 MWe
www.irsn.fr/VD4-900

Avis IRSN/2018-00043 : Maîtrise du vieillissement
www.irsn.fr/Avis-2018-043

Avis IRSN/2018-00295 : Dossier cuve - Viroles de cœur
www.irsn.fr/Avis-2018-295

Avis IRSN/2019-00087 : Maîtrise du vieillissement dans le cadre des quatrième visites décennales des réacteurs de 900 MWe
www.irsn.fr/Avis-2019-087

Avis IRSN/2019-00221 : Instruction du dossier cuve-viroles de cœur
www.irsn.fr/Avis-2019-221

Repères n° 23, octobre 2014
Vieillessement des centrales, un phénomène anticipé et surveillé
www.irsn.fr/R23

Repères n° 37, avril 2018
Génie civil : protéger les installations des agressions
www.irsn.fr/R37



La casemate de gammagraphie de cet industriel est entourée d'une enceinte fermée. Seuls les contrôleurs ont les clés des accès.



Les barbelés sont une mesure de sécurité très répandue sur les sites industriels. Ils dissuadent et retardent l'accès.

Sources radioactives

Protection contre la malveillance

L'ESSENTIEL 300 établissements en France utilisent quelque 5 000 sources radioactives scellées de haute activité. De nouvelles dispositions réglementaires pour les protéger contre les actes malveillants reposent sur trois principes : détection, retard et intervention.

Comment sont-elles mises en application ? **TÉMOIGNAGE** Un responsable des activités nucléaires (RAN) dans l'industrie. **DÉCRYPTAGE** Quels dispositifs pour protéger des sources contre la malveillance ? **AVIS D'EXPERT** Une chargée de sécurité nucléaire s'exprime.



© F. Nos

Fabrice Nos

Conseiller en radioprotection et à la sécurité du transport de matières dangereuses chez Schlumberger, responsable des activités nucléaires (RAN).

TÉMOIGNAGE

“Il faut protéger les informations sensibles”

“**N**otre entreprise intervient lors des forages. Elle repère par diagraphie les couches géologiques renfermant des hydrocarbures. Cette technique utilise des sources de haute activité qui relèvent des catégories D et B (voir p. 18). Leur bunker de stockage constitue une source dite « en lot » de catégorie B. Cette classification dicte les niveaux de sécurité.

La société est organisée pour faire face à quelques scénarios d'intrusion et satisfait déjà presque 90% des nouvelles exigences réglementaires. L'identification avec un accès nominatif aux sources est en place depuis 2009. Depuis 2006, le véhicule de transport a une sécurisation accrue par GPS.

Des retardateurs d'accès

La première phase de l'arrêté exige de protéger les informations sensibles. Pour concilier l'information sécurité – disponible pour chacun – sans divulguer les clés de

la sécurisation, j'opte pour deux documents. Celui qui décrit les précautions entourant nos sources est en accès restreint : chef d'établissement, conseillers en radioprotection et responsable des activités nucléaires.

L'accès aux sources, déjà sécurisé, sera renforcé en mode gradué. Tout salarié concerné fournira un extrait de casier judiciaire. Pour ceux ayant accès à l'ensemble – dont moi-même – une enquête administrative sera demandée.

L'arrêté exige la mise en place des retardateurs d'accès d'ici 2022. Nous sommes en règle. Cependant, nous passerons du cadenas mécanique à une version plus sophistiquée, à clé électronique individuelle, désactivable à distance en cas de perte ou de vol. Un identifiant et un mot de passe assurent leur traçabilité et les données – accès, ouvertures, etc. – sont sauvegardées.

Pour la lutte anti-intrusion, la détection et l'intervention sont opérationnelles. Nous prévoyons davantage d'exercices pratiques pour éprouver la procédure. ■

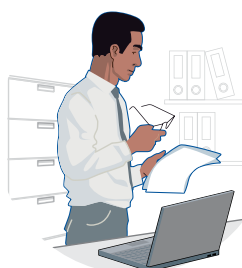
Quels dispositifs pour protéger des sources contre la malveillance ?

Dispositifs anti-intru 2019 édicte de nouv les sources radioacti dans un centre de cu



Phases 1 et 2 : mettre en place l'organisation

Le centre médical dirigé par Louis R. a une **source de curiethérapie à haut débit de dose (catégorie B)**. Il détient également d'autres sources, notamment de curiethérapie à débit pulsé. Ensemble, elles constituent un **lot de sources, dont il vérifie la catégorie**.



Louis R., responsable des activités nucléaires (RAN), doit mettre en application le nouvel arrêté.

> Sécuriser l'accès à la source

Il définit les personnes autorisées à y accéder. Il produit des **autorisations nominatives**.



> Sécuriser l'accès aux données sensibles

Quelle information de sécurité pour qui ? Il réalise les documents sécurité en mentionnant **diverses restrictions** et organise en conséquence leur **accès en interne**.



Phase 3 : installer le dispositif de sécurité

Pour assurer les **fonctions de sécurité – détection, retard, intervention** – le centre doit **s'équiper**. En cas de besoins particuliers, est adressée une demande de dérogation à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

1 Registre

Tout déplacement de source et accès de personne non-autorisée, accompagnée d'une autorisée, doivent être **consignés dans un registre**. Le patient est une exception à cette règle. Toute malveillance doit être signalée à l'ASN.



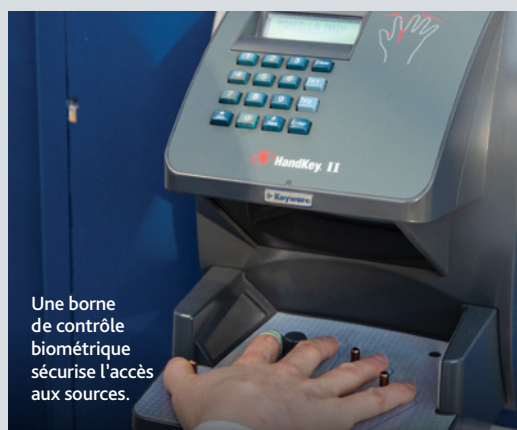
2 Détection

Elle est **en amont de l'accès, pour déclencher l'alerte au plus tôt**. Les dispositifs varient : détecteur bi-technologie, infra-rouge passif combiné au doppler. A minima, la porte est équipée d'un détecteur magnétique d'ouverture.

Signaler l'ouverture de la porte diminue le temps d'action

3 Accès sécurisé

Murs, porte, serrure et dispositifs d'identification sont dissuasifs. Ils constituent un **retard** aux effractions et une **barrière**. Seule une **personne autorisée** peut la franchir avec idéalement **deux critères d'identification**. Le patient doit être accompagné d'une personne autorisée et son identité vérifiée.



Une borne de contrôle biométrique sécurise l'accès aux sources.

© Sophie Brändström/Signatures/Médiathèque IRSN

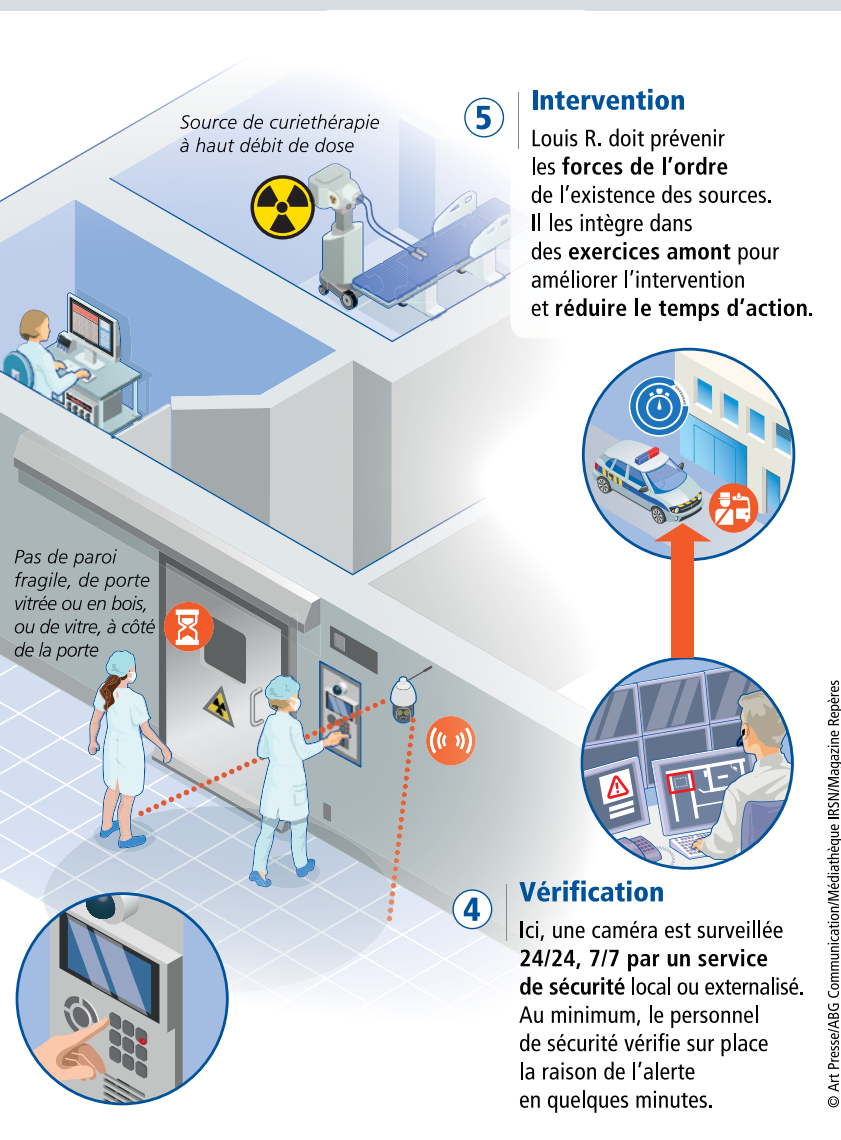
SOURCES RADIOACTIVES

Toutes les sources radioactives sont classées en quatre catégories en fonction de leur dangerosité. Par ordre décroissant, on distingue les catégories A, B, C et D. Parmi les sources répertoriées à l'inventaire national, 30 % sont inférieures aux seuils et le reste se répartit de la manière suivante : 81 % D, moins de 1 % C, 7 % B et 11 % A. Pour connaître les critères de classement, voir le décret n° 2018-434 du 4 juin 2018.

TEXTES RÉGLEMENTAIRES

- Arrêté modifié du 29 novembre 2019 relatif à la protection des sources de rayonnements ionisants et lots de sources radioactives de catégories A, B, C et D contre les actes de malveillance. Cet arrêté fixe les modalités de protection, notamment contre les menaces de vol.
- Décret n° 2018-434 du 4 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire, Art. R. 1333-147 du code de la santé publique.

sion, protocole d'alerte... L'arrêté du 29 novembre 2019 définit les règles pour renforcer la sécurité entourant ces sources. Illustration des trois phases de son application : intervention, vérification et alerte, dotée d'une source à haut débit.



LES SOURCES CONCERNÉES

L'arrêté vise les sources de rayonnements ionisants et lots de sources radioactives de catégories A, B, C et D définies par l'annexe 13-7 du code de la santé publique. La catégorie est établie selon l'article R. 1333-14 du code de la santé publique. Si un doute existe quant au caractère scellé ou non de la source, appliquer les dispositions valables pour une source scellée. Ces dispositions ne s'appliquent pas aux sources qui sont des matières nucléaires au sens de l'article L. 1333-1 du code de la défense.

POUR ALLER PLUS LOIN

Arrêté modifié du 29 novembre 2019
www.legifrance.gouv.fr
 Décret n° 2018-434 du 4 juin 2018
www.legifrance.gouv.fr

CONTACT

Unité d'expertise des sources
 BP 17
 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex
 Tél. secrétariat : 01 58 35 95 13
 ou 01 58 35 90 00

AVIS D'EXPERT



Caroline Jacquelin

En charge de sécurité nucléaire

“L'arrêté s'inspire de pratiques réelles”

“ Pour élaborer la réglementation 2019 visant à mieux protéger les sources radioactives, l'IRSN a apporté un appui technique aux autorités de sécurité et de sûreté nucléaire. Afin de proposer des techniques et des organisations pertinentes, nous sommes partis du terrain, en observant les pratiques, protections en place, difficultés... des détenteurs de sources dans cinq services de l'Institut. Conformément à la réglementation de santé et de sécurité au travail, ces installations révèlent parfois des contradictions entre la radioprotection et la lutte contre la malveillance. Exemple : la mise à disposition d'une clé qui facilite l'accès en cas d'intervention d'urgence induit un risque d'intrusion pouvant aboutir au vol d'une source. L'arrêté devait prendre en compte les spécificités des établissements de santé et des sites industriels. C'est le cas, grâce à la contribution d'un spécialiste de l'expertise des sources de l'Institut. Pour certains, la culture de sécurité – initiée avec le décret 2018 – est un concept nouveau. Les réflexes de lutte contre la malveillance ne sont pas automatiques : anticiper une agression volontaire, retarder l'accès à la source, être aussitôt alerté de l'intrusion, confirmer sa réalité, etc. L'arrêté 2019 précise aux détenteurs les modalités à suivre pour se mettre graduellement en conformité. La méthode pragmatique utilisée devrait faciliter sa mise en application.



CONTACT
 Caroline Jacquelin
caroline.jacquelin@irsn.fr

Des connaissances à acquérir pour répondre aux citoyens

Un projet de piscine pour les combustibles usés ?
Des traces de ruthénium dans l'environnement ?
Les citoyens s'adressent aux Commissions locales d'information (Cli). Comment des experts contribuent à l'acquisition des connaissances ?



La détritiation des flux gazeux, qui limite les rejets, est évoquée lors de réunions publiques.

1 Quelles attentes de la société civile ?

« Si les Cli ne sont pas compétentes, comment peuvent-elles répondre à la population ? » Pour Gérard Mahaud, membre de la commission locale de Dampierre-en-Burly (Loiret), la formation devrait être obligatoire au sein de ces structures chargées d'informer le public sur les questions nucléaires. En 2019, l'avis de cette Cli est sollicité sur des essais de pompage dans la nappe de la craie¹ envisagés par EDF. L'exploitant recherche une source d'eau d'ultime secours pour refroidir les installations en cas d'aléa majeur. « La problématique était : "Comment puiser dans la nappe sans la contaminer ? Comment assurer un débit suffisant ?" J'étais au même niveau de connaissances que les autres membres de la commission, au niveau zéro ! » L'éclairage de spécialistes

s'avère indispensable. « Un exposé d'intervenants du Centre national d'équipement de production d'électricité (CNEPE) nous a permis de rendre un avis² sur ce projet. » Structurée en quatre collèges – élus, associatifs, experts, syndicats – la Cli comprend un chargé de mission. Mieux éclairé, il crée des groupes de travail pertinents. Pour former ses membres, l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (Anccli) organise des sessions sur les principes de sûreté et fait appel à l'IRSN.

1. L'une des plus grandes nappes phréatiques d'Europe; elle couvre 20% de la France.
2. L'avis de la Cli de Dampierre www.loiret.fr/protège/contre-les-risques/la-cli-de-dampierre/les-activites-de-la-cli-de-dampierre



L'outil Opal aide les acteurs locaux à se représenter les impacts sanitaires, sociaux et économiques d'un accident nucléaire.



Les membres des groupes permanents échantillent sur les déchets de très faible activité, le 8 novembre 2019.

2 Quel rôle joue l'association nationale ?

Fédérant les 34 commissions du territoire, l'association nationale des Cli stimule leur montée en compétences. Elle lance des groupes permanents (GP) thématiques – démantèlement, post-accident, etc. – et publie des livres blancs. En 2018, le GP sûreté s'intéresse au projet de piscine d'entreposage centralisé du combustible usé d'EDF. « Les membres entendent les points de vue de l'Autorité de sûreté nucléaire [ASN], de l'Institut, de l'exploitant... puis les relaient en local », décrit Valérie Demet, responsable des relations avec les commissions et de la formation à l'Anccli. Autre mission : l'accueil des nouveaux membres. En 2020, l'association leur distribue un guide sur leurs rôles, missions, devoirs... En 2019, l'Institut, partenaire de l'Anccli depuis 2003, intervient lors de 22 réunions des Cli sur les déchets, le séisme du Teil, l'entreposage de combustibles...

WWW Pour en savoir plus : www.anccli.org/les-livres-blancs
Contact pour une intervention dans une Cli ouverture.societe@irsn.fr

3 La formation alimente-t-elle le questionnement ?

En 2016, la Cli de Cadarache (Bouches-du-Rhône) organise une réunion publique sur le thème : « Iter, où en est-on ? ».

Un de ses membres interroge l'exploitant sur la détritiation, la solution qui consiste à extraire le tritium..

« Nous avons obtenu des réponses sur ce procédé prévu par la loi,

qui doit minimiser les rejets et donc l'exposition des populations, raconte Brigitte Dailcroix, membre de la Cli.

Nous avons en notre sein des personnes expertes, qui posent des questions dérangeantes, insistent pour avoir des réponses.

La compétence est nécessaire pour porter la contradiction. »



Dominique Boutin, membre d'une Cli, expose sa vision de l'ouverture à la société civile.

4 Quelles informations ?

Des traces de ruthénium dans l'environnement ? L'IRSN renseigne la Cli de Chinon (Indre-et-Loire), qui informe ses membres. Comprendre les visites décennales ? À la suite du dialogue avec les commissions locales, l'Ancli et l'IRSN créent une vidéo sur la conformité des réacteurs¹. Fin 2019, l'avis de celle de Chinon est sollicité sur le décret prescrivant à EDF le démantèlement de l'atelier des matériaux irradiés du territoire. Michel Madinier, chargé de mission, crée un groupe de travail. « *En cas de difficultés, nous faisons appel à l'ASN ou à l'IRSN.* » Audité, le groupe émet des remarques sur les déchets, la gestion des effluents, etc. Il demande à connaître la progression des travaux. Il est entendu. Dans son avis², l'ASN demande à l'exploitant d'informer la Cli au moins une fois par an.

1. Vidéos IRSN/Ancli sur la conformité : www.ancli.org/videos et www.irsn.fr/Dialogue-ANCLI-IRSN/

2. Avis n° 2020-AV-0347 du 6 février

5 Les Cli sont-elles spécialisées ?

Leurs réflexions diffèrent selon leur localisation et les spécificités de l'installation nucléaire.

En novembre 2019, le séisme du Teïl (Ardèche) conduit à l'arrêt de la centrale de Cruas-Meysses, proche de la faille ayant rompu. « *Tout le monde se demandait si le dimensionnement de la centrale était remis en question* », se souvient Véronique Leroyer, en charge de l'ouverture à la société à l'IRSN.

Le 3 décembre, la Cli organise une séance exceptionnelle. Sollicité, Christophe

Clément, sismologue à l'Institut, expose les connaissances disponibles, alors qu'EDF détaille le déroulé des événements. Ainsi renseignée, la Cli informe la population. En Indre-et-Loire, c'est le démantèlement qui préoccupe la commission.

« *Chinon va accueillir un démonstrateur pour les opérations futures sur des réacteurs UNGG [Uranium Naturel Graphite Gaz]. Il est important d'instruire la Cli sur ces questions* », souligne le chargé de mission, Michel Madinier. La commission se formera en 2020.



© ITER Organization, www.iter.org/



© Frédérique-Elisa-Hughes/Médiathèque IRSN



La Cli de Chinon (Indre-et-Loire) a créé un groupe de travail sur le démantèlement de l'atelier des matériaux irradiés.

© EDF - Rudy Burbant, Capa Photo

Irradiation industrielle

Stériliser en sûreté

Dispositifs anti-intrusion, détection incendie, confinement des sources... L'irradiation industrielle exige des mesures de sûreté. Reportage chez Ionisos, spécialiste de la stérilisation, à Sablé-sur-Sarthe (Sarthe), aux côtés du responsable sûreté.

Dans le vaste hall rappelant un entrepôt de stockage – partout des rayonnages, des palettes... – le responsable sûreté nucléaire, Tarik Beladgham, expose ses missions, avec passion et minutie. Voilà six mois qu'il a rejoint le groupe Ionisos. Derrière lui, l'imposante casemate est flanquée du trisecteur. Cela donne le ton : nous sommes dans l'installation nucléaire de base (INB) n° 154. Ici, on stérilise avec des rayons gamma. L'installation est suivie par l'IRSN.

Les produits à stériliser (dispositifs médicaux, brumisateurs, etc.) sont convoyés par palette entière autour d'un porte-sources composé de plusieurs centaines de crayons de cobalt 60. La stérilisation dure plusieurs heures. À un mètre de la source de 130 000 TBq, une seconde suffit pour recevoir plus d'une fois la dose létale à 100 % (DL100), soit environ 12 Gy.

Si l'installation intègre les protections radiologiques usuelles – un bunker isolé par deux mètres de béton et une piscine faisant écran au rayonnement du porte-sources, hors périodes d'activité – il incombe à l'ingénieur d'assurer la sûreté au quotidien.

Vidéo et détecteurs

En prenant garde de ne pas gêner les caristes qui manient des engins de manutention, l'ingénieur se dirige vers la casemate. Veiller au confinement des sources qui s'y trouvent est sa première mission. « *Tant que leur double enveloppe d'acier est intégrée, il n'y a pas de contamination possible* », indique-t-il. Éviter la corrosion que pourrait induire un excès de chlorure dans l'eau de la piscine est capital. « *Des contrôles qualité vérifient qu'elle reste inférieure à 1 mg/L.* »

Une alarme retentit. Techniciens, opérateurs... quittent le bâtiment pour l'exercice incendie semestriel. Depuis 2013, le site s'est agrandi. « *Les nouveaux bâtiments ont été raccordés à la centrale incendie. Tout le dispositif a été adapté pour des raisons de sûreté.* »

Pour prévenir la corrosion de l'enveloppe inox des sources, l'eau de la piscine est très surveillée. Son niveau est vérifié. Sa qualité est évaluée en suivant deux paramètres : sa résistivité et sa teneur en chlorure. Celle-ci doit être inférieure à 1 mg/L. Elle est contrôlée trimestriellement après prélèvement par un technicien, comme ici.

© Florian Houaier/Ionisos

L'automate qui actionne le porte-sources y est relié. En cas de départ de feu, il le fait descendre dans la piscine », explique-t-il.

De retour en réunion, l'ingénieur revient sur une mission ponctuelle importante : lors du réexamen de sûreté initié en 2013, l'Institut a recommandé à la société d'actualiser des données sismotectoniques du site. « *Le risque serait que les murs de la casemate s'effondrent, alors que les sources sont émergées.* »

Autre chantier : la mise en conformité de ses dispositifs anti-intrusion, suite à l'arrêté de 2019 sur la protection des

sources (lire article p. 17). « *La clôture sera renforcée au niveau de la reconnaissance vidéo et des capteurs infrarouges* », une mise en conformité à effectuer avant juillet 2022. Avec pour objectif toujours plus de sûreté et de sécurité. ■



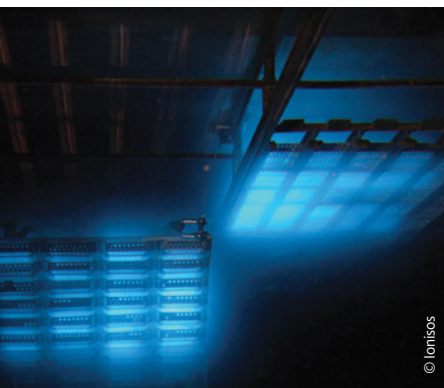
DIAPORAMA

Retrouvez tous les reportages!



**Incendie, panne, etc.,
les mesures
pour améliorer
la sûreté**

www.irsn.fr/R47



© Ionisos

Sources et radioprotection

Les crayons de cobalt 60, utilisés pour la stérilisation, sont insérés dans des modules déposés sur un porte-sources. Hors période d'activité, il est en position de sûreté, plongé dans une piscine de plusieurs mètres de profondeur. Cet écran d'eau assure la radioprotection du personnel. La piscine est tapissée d'un matelas amortisseur, dont la résistance est régulièrement contrôlée.

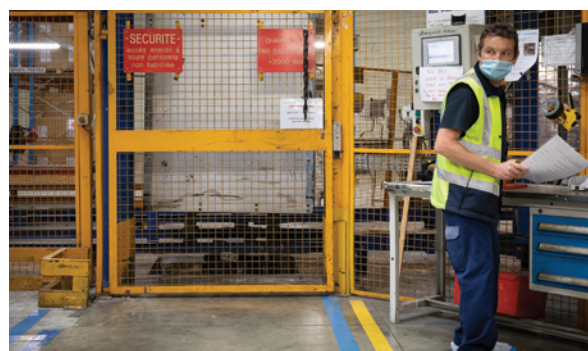


Éviter la contamination par les déchets

Les déchets classés « de très faible activité » (TFA) sont essentiellement des consommables issus des manipulations des sources et circuits de filtration de la piscine. Ils sont stockés dans des fûts en métal. Ionisos entreprend une démarche pour les reclasser en déchets conventionnels, car jamais aucune contamination n'avait été détectée.



Reportage photo : © Sophie Brändström/Signatures/Médiathèque IRSN



Des dispositifs anti-intrusion

Pour prévenir toute intrusion dans la casemate pendant l'irradiation, divers capteurs sont disposés le long du convoyeur qui achemine automatiquement les objets à stériliser sur des nacelles. En cas d'anomalie, ces dispositifs font automatiquement descendre le porte-sources en position de sûreté. Une signalétique et des grilles sécurisent la zone.



Maîtriser les opérations à risque

Les inspections de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sont régulières. Elles portent sur les opérations à risque, comme le rechargement des sources de cobalt. En réunion post-inspection, les procédures et justificatifs exigés sont passés au crible : transport des sources, manipulation des colis, etc. De gauche à droite : Hervé Bouttier, responsable technique, Jonathan Calteau, responsable d'exploitation et Tarik Beladgham, responsable sûreté.



S'assurer de l'absence de fuites de radioactivité

Farrid Benoist, technicien de maintenance, mesure chaque mois le débit de dose à l'extérieur de la casemate à l'aide d'un radiamètre. En vérifiant qu'il ne dépasse pas le seuil fixé de 0,1 $\mu\text{Sv/h}$, il s'assure que les protections radiologiques jouent bien leur rôle d'écran.



Avec le webmagazine, accédez à des contenus exclusifs

Le magazine *Repères* existe au format numérique.

Grâce à des contenus complémentaires – podcasts, vidéos, reportages photos et infographies – vous découvrez l'intervention des sapeurs-pompiers lors d'un exercice de crise, les règles de radioprotection au musée du Louvre... Vous écoutez de jeunes scientifiques en cours de thèse et comprenez leurs recherches sur l'impact des rayonnements sur la reproduction ou la déformation des gaines de combustible.

Sur www.irsn.fr/reperes, vous accédez à ces prolongements web, commandez des anciens numéros ou choisissez le format de votre abonnement.

Les podcasts
du magazine
Repères



Pour en savoir plus

www.irsn.fr/reperes

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE