

N°45
AVRIL 2020

Le magazine de l'IRSN

REPÈRES

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLEAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

EN PRATIQUE

Quelle dosimétrie
face aux neutrons ?

DOSSIER

Matières radioactives
Comment maîtriser les risques
lors du transport ?



REPORTAGE

Radioprotection en rade de Brest



Rapport d'activité de la Commission d'éthique et de déontologie

La Commission d'éthique et de déontologie (CED) de l'IRSN, dont les membres ont été récemment renouvelés, publie son rapport d'activité couvrant la période 2016-2018. La CED apporte à l'Institut un éclairage extérieur sur son application des principes d'éthique et de déontologie (chartes, liens d'intérêt, etc.). Rapport disponible sur www.irsn.fr/CED-RA-2016-2019

Découvrez l'installation Persée

PERSÉE est une plateforme expérimentale de recherche sur les dispositifs d'épuration des effluents radioactifs. Elle est conçue pour reproduire différentes conditions rencontrées par les établissements sources d'iode radioactif (installations nucléaires, hôpitaux, laboratoires, usines), en fonctionnement normal et accidentel. Implantée sur le site du CEA/Saclay au sein du Laboratoire d'étude des transferts de contamination, de l'épuration et de la ventilation, elle est à découvrir grâce aux « Grands formats ». www.irsn.fr/Persee



Agenda

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

2 au 5 juin 2020

Strasbourg (Bas-Rhin)

36^e Congrès national de médecine et santé au travail (CNMST)

Venez rencontrer les experts de l'IRSN au 36^e CNMST, où il disposera d'un stand. En partenariat avec l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS), l'IRSN organise un symposium sur « La gestion du risque radon », désormais incluse dans la démarche de prévention des risques professionnels.

Plus d'informations : <https://www.medecine-sante-travail.com/>

10 au 12 juin 2020

Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône)

Séminaire de clôture INCEFA+

L'eau à haute pression et haute température provoque un vieillissement par fatigue

des composants en acier inoxydable des circuits primaires des réacteurs nucléaires. Comment évaluer la résistance du matériau dans ce milieu ? Quels paramètres tester et comment ? Des réponses seront apportées lors de ce séminaire de présentation des résultats du projet européen INCEFA+.

Inscription gratuite obligatoire auprès de walter-john.chitty@irsn.fr



ERRATUM

Une erreur s'est glissée dans le Repères numéro 44. Dans l'infographie « Comment protéger la thyroïde avec de l'iode stable » en page 13, dans le deuxième paragraphe, il fallait lire « 50 mSv ».

Online WEBMAG

www.irsn.fr/R45

INFOGRAPHIE

4. Situation d'urgence : les colis les plus dangereux transportés par avion

Dossier

Des épreuves pour chaque type de colis

INFOGRAPHIE

Dossier

Des étapes et des obligations pour autoriser un nouveau colis

À LIRE

Dossier

La surcoque Manon répond aux évolutions de la réglementation

Dossier

Retour d'expérience : le desserrage des vis des capots de colis

Abonnement

POUR VOUS ABONNER :
www.irsn.fr

Rubrique l'IRSN > Publications
> Magazine Repères

INFOGRAPHIE

Dossier

Que devient un colis de transport après 30 minutes de feu à 800 °C ?

VIDEO

REPORTAGE D'EXPERT

Dossier

Sécurité des transports : un expert raconte son quotidien

DIAPORAMA

Reportage

Tri et décontamination : exercices au cœur des formations

DIAPORAMA

Reportage

Délicate surveillance des éventuelles contaminations faibles

Sommaire

En couverture :
Jean-Paul Roche, technicien transport au sein de l'Échelon
opérationnel des transports (EOT) de l'IRSN
suit le trafic en temps réel.

P.4 TEMPS FORTS

Centrale nucléaire de Cruas
Séisme du Teil : sûreté assurée

Après l'incendie de Notre-Dame
**Plomb : une expertise pour
protéger les populations**

P.6 FAITS ET PERSPECTIVES

Centrales nucléaires
**Le contrôle aux portiques
s'améliore**



P.9 ZOOM

Une goutte d'eau dans le vert

DOSSIER P.10

Dossier du prochain n° :
En pédiatrie, la chasse
à la dose se poursuit

Matières radioactives
Comment maîtriser
les risques lors du transport ?

P.17 EN PRATIQUE

Radioprotection des professionnels
Quelle dosimétrie face aux neutrons ?

P.20 INTÉRÊT PUBLIC

Des citoyens sont
acteurs de la surveillance
de l'environnement



P.22 REPORTAGE

Marine nationale
Radioprotection en rade de Brest



© Antoine Devouard/Drone Press/Médiathèque IRSN

Transport Maîtriser le transport des matières radioactives

Des transports de matières radioactives ont lieu tous les jours. Une scintigraphie, une radiothérapie ? Les sources parcourent des milliers de kilomètres avant d'arriver à bon port. Un appareil électrique branché ? Il a fallu transporter le minerai d'uranium nécessaire à la fabrication des assemblages combustibles, puis les acheminer jusqu'à la centrale et après utilisation, jusqu'à l'usine de traitement. Pour garantir sécurité et sûreté lors de ces transports, des professionnels veillent au grain. À l'IRSN, certains experts s'assurent que les colis respectent le haut niveau d'exigence des standards de sûreté internationaux. D'autres s'occupent de la sécurité et du suivi des transports, au jour le jour pour les plus dangereux. D'autres encore sont en mesure d'intervenir en cas d'accident, pour aider les pouvoirs publics à protéger la population et l'environnement. Peu connus du public, ce dossier de *Repères* leur donne la parole.

Marianne Moutarde

Experte en sûreté à l'IRSN

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

REPÈRES – Éditeur : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire - Membre d'Euronorm - 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 : Stéphanie Clavelle, Octavia Vény, Pascale Monti – Comité de lecture : François Bréchnignac, Louis-Michel Guillaume – Rédaction et réalisation, maquette et direction artistique : ABG Communication – Iconographie : Sophie Léonard – Photos de couverture : © Sophie Brändtröm/Signatures/Médiathèque IRSN – Impression : Handprint (50) – Imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement – ISSN : 2103-3811 et 2491-8776 (Web) – avril 2020.

Sciences participatives

Embarquez à bord de *Cosmic on Air*

Mieux évaluer l'exposition au rayonnement cosmique à bord d'un avion est à portée de main, grâce au projet de sciences participatives *Cosmic on Air*. Moyennant l'acquisition d'un capteur des émissions ionisantes à connecter à une application smartphone, tout citoyen peut collecter des mesures de doses et les partager avec la communauté scientifique internationale.

Voyager en avion expose au rayonnement cosmique (environ 0,06 mSv pour un Paris-New York). Pour estimer l'exposition individuelle des voyageurs et personnels navigants, des outils de calcul intègrent différents phénomènes cosmiques et magnétosphériques. Certains, telles les éruptions solaires, sont encore mal évalués du fait d'un manque de mesures. Ce dispositif a pour vocation de les combler. « Ces modèles pourront désormais être vérifiés par des mesures en vol », explique François Trompier, expert en dosimétrie. *Cosmic on Air* s'appuie sur l'infrastructure du projet de sciences participatives *OpenRadiation*.

WWW Pour participer :
www.cosmic-on-air.org et
www.openradiation.org

TRANSPORT DE MATIÈRES RADIOACTIVES

1 500 transports

de matières radioactives sont gérés chaque année par l'Échelon opérationnel des transports (EOT) de l'IRSN pour le compte des ministères chargés de la défense et de l'énergie.

400 colis

sont suivis chaque année par l'EOT, tout au long du trajet.

Retrouvez notre dossier Transport en page 10.

Sûreté



© F. Anterion/PhotoQR/Le Dauphiné/MaxPPP

Le directeur de la centrale de Cruas, Stéphane Brasseur, examine les plots antisismiques sous la centrale, le lendemain du séisme du Teil.

Centrale nucléaire de Cruas Séisme du Teil : sûreté assurée



Le 6 décembre 2019, après avis de l'IRSN, l'Autorité de sûreté nucléaire donnait son accord au redémarrage de deux réacteurs de la centrale de Cruas, arrêtée le 11 novembre dernier après le séisme¹ survenu dans la région du Teil (Ardèche). Quels analyses et contrôles l'IRSN a-t-il menés pour établir son avis ?

Bref rappel des faits : à la suite du séisme, les trois réacteurs en fonctionnement de la centrale de Cruas sont arrêtés le jour même. EDF effectue immédiatement des contrôles sur site à la recherche d'éventuels dommages sur les structures et équipements. Par la suite, EDF définit un plan de contrôle et réalise les investigations. « En cas de séisme, il y a des procédures et des contrôles stricts à mettre en vigueur : rechercher d'éventuelles fissures, inspecter l'état des installations, etc. » indique Marie-Hélène Bonhomme, experte en génie civil à l'Institut. L'établissement analyse le plan de contrôle et ses justifications, ainsi que les résultats obtenus, afin d'établir son avis sur la possibilité de redémarrer les réacteurs.

« Nous avons eu affaire à un séisme modéré, comme nous en avons déjà vu dans la

région. Mais cette fois une faille est visible en surface » observe Stéphane Baize, géologue. Une mission scientifique du Groupe d'intervention macrosismique (GIM) pilotée par le BCSF-RéNaSS¹ – à laquelle a participé l'IRSN – est chargée d'établir l'intensité macrosismique du séisme (effets et dégâts). Elle rendra prochainement ses conclusions² afin de réexaminer le séisme majoré de sécurité des centrales de Cruas et du Tricastin.

¹ La magnitude locale (M_L) du séisme a été estimée à 5,2 par le BCSF-RéNaSS (Bureau central sismologique français / Réseau national de surveillance sismique).

² Le rapport préliminaire en ligne sur www.franceseisme.fr

WWW Pour en savoir plus :
Avis IRSN : www.irsn.fr/Avis-2019-263
4 minutes pour comprendre
www.irsn.fr/Video-Le-Teil



Le séisme s'est produit à faible profondeur, 3 km au plus, jusqu'à rompre la surface.

© Stéphane Baize, BERSIN/IRSN

Santé



460 tonnes de plomb sont parties en fumée lors de l'incendie de Notre-Dame.

© Geoffroy Van Der Hasselt/AFP

« L'ingestion est la voie majeure de contamination au plomb quand les espaces publics extérieurs sont pollués.

Après l'incendie de Notre-Dame

Plomb : une expertise pour protéger les populations

L'incendie de la cathédrale Notre-Dame de Paris en avril 2019 provoque une importante dissémination de plomb alentour. Pour évaluer le risque que représente pour la population la contamination des surfaces publiques extérieures (parcs, trottoirs, aires de jeu etc.) par rapport à d'autres sources d'exposition, l'Anses¹ forme à l'été 2019 un groupe d'expertise collective. François Gensdarmes de l'IRSN y est convié pour son expertise dans la remise en suspension des aérosols.

En cas de contamination de l'eau ou du sol, l'action publique est guidée par des valeurs réglementaires. Pour des espaces publics extérieurs où des poussières de plomb peuvent se déposer, de telles valeurs n'existent pas. « Le

groupe a étudié la manière dont chaque voie de contamination – aérienne, à la peau, par ingestion – contribue au risque global des populations », détaille François Gensdarmes. Principal risque identifié : l'ingestion par contact main-bouche. Cette voie de contamination concerne surtout les jeunes enfants, particulièrement sensibles à l'intoxication aiguë ou chronique au plomb, le saturnisme². L'avis de l'Anses relatif aux conclusions et recommandations des experts est disponible sur son site.

1. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.
2. En France, le seuil légal d'intervention est de 50 microgrammes par litre de sang.

WWW Pour en savoir plus : www.anses.fr > Actualités > Exposition au plomb dans les espaces extérieurs

Recherche



Pour découvrir les bandes-dessinées illustrant les thèses : irsn.fr, La recherche. Ici, celle illustrant la thèse d'Alice Bontemps Karcher.

© Olivier Legan/Médiathèque IRSN

Biologie cellulaire

Ma thèse à l'IRSN

54 c'est le nombre de sujets de thèse proposés en 2020 à l'IRSN. Chaque année, une centaine de doctorants s'active dans les laboratoires de l'Institut, dans une pluralité de disciplines, depuis les sciences du vivant jusqu'au génie civil, en passant par les mathématiques et les sciences de l'ingénieur. Alice Bontemps Karcher vient de soutenir sa thèse en biologie cellulaire au laboratoire de radiotoxicologie et de radiobiologie expérimentale. Elle a choisi l'IRSN pour le sujet proposé¹ et l'opportunité de travailler *in vitro* et *in vivo* au sein d'installations de qualité. « Il y a un fort regroupement de compétences, observe-t-elle. Ici, tout est mis en œuvre pour qu'on échange au maximum. » Une associa-

tion de doctorants favorise les interactions par des sorties, visites de laboratoires et d'installations. « L'Institut prend soin de ses thésards. Beaucoup de formations sont proposées – sur la rédaction scientifique, le réseau professionnel, la connaissance de l'entreprise – ce qui nous prépare au monde du travail. » Les candidats transmettent au tuteur de la thèse CV et lettre de candidature. La sélection se fait sur dossier et entretien.

1. Étude de la réponse adaptative rénale et des mécanismes sous-jacents après exposition chronique à de faibles concentrations d'uranium ou de fluor.

WWW Pour en savoir plus : www.irsn.fr/Theses-2020
www.irsn.fr/these-3min-2019-Bontemps

Santé

Feuille de route cancer

Améliorer la prévention, limiter les séquelles et améliorer la qualité de vie des patients, et enfin lutter contre les cancers de mauvais pronostic. Ces trois objectifs sont visés par le nouveau plan décennal contre le cancer. L'Institut national du cancer (INCa) – chargé de concevoir une stratégie – associe l'IRSN à ses réflexions.

Fin 2019, les experts des deux instituts se retrouvent pour échanger sur ces problématiques. Premier impératif, dresser un état des lieux des enjeux liés au traitement : conséquences des radiothérapies, délivrance de la juste dose...

Autre priorité, repenser l'évaluation des nouveaux dispositifs ou protocoles de traitement : couplage d'un appareil d'imagerie par résonance magnétique à un accélérateur linéaire, combinaison de la radiothérapie et de l'immunothérapie, etc. Enfin, la création d'une base de données – visant par exemple à évaluer les traitements de manière systématique et à recourir à des traitements alternatifs – est envisagée.

Le nouveau plan décennal sera présenté au ministère de la Santé au premier semestre 2020.

WWW Pour en savoir plus : aurelie.isambert@irsn.fr

FAITS ET PERSPECTIVES



Xavier Lefranc, expert de l'IRSN, passe le contrôle du portique C2 lors d'une visite de la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux (Loir-et-Cher).

© Laurent Zylberman/Graphix-Images/Médiathèque IRSN



Cette opératrice accède à l'entrée du bâtiment réacteur de l'unité de production à Golfech (Tarn et Garonne) en mode Everest, abréviation de « Évoluer VERs une Entrée Sans Tenue universelle ».

© EDF - La mission communication de Golfech

Centrales nucléaires

Le contrôle aux portiques s'améliore

La chaîne de contrôle radiologique dans chaque site nucléaire assure-t-elle la protection des personnels ? Évite-t-elle la dissémination de la radioactivité dans les centrales comme à l'extérieur ? Les experts évaluent les équipements et les procédures. L'objectif est d'améliorer la traçabilité des contrôles individuels et de vérifier les paramètres de réglages de certains portiques.

Au Blayais, en 2015, un intervenant est contaminé au visage par une poussière radioactive. La dose estimée, réalisée avec des hypothèses pénalisantes, a été d'environ trois fois la dose à la peau réglementaire (500 mSv sur le cm² de peau le plus exposé). À Cattenom en 2019, un outil contaminé au cobalt 60 (29 kBq) est détecté en dehors de la zone contrôlée ; il est par conséquent conservé à l'intérieur du site conformément aux procédures.

« Depuis 2012, en moyenne, deux incidents par an de contamination à la peau redevables d'une déclaration sont survenus pour 50 000 passages de C2 par an et par tranche », précise Patrick Jolivet. Cet expert en radioprotection a coordonné l'étude de l'IRSN publiée fin 2018 (voir Pour en savoir plus) sur la métrologie du contrôle radiologique des personnes et des petits objets dans les centrales. Elle est

assortie d'une quinzaine de recommandations portant sur la doctrine de contrôle radiologique et les performances des appareils associés. Elle examine une série d'événements de radioprotection, relatifs aux contrôles de contamination¹, survenus entre mars 2014 et novembre 2015.

Comment assurer la sécurité des personnes intervenant sur les 19 sites nucléaires français et éviter que leurs allées et venues ne provoquent une dissémination radiologique tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des centrales ? Pour atteindre ces objectifs, Électricité de France (EDF) a engagé depuis 2008 le déploiement de portiques de contrôle radiologique de nouvelle génération en sortie de zone contrôlée.

Les procédures de radioprotection sur les sites des 58 réacteurs en exploitation s'appuient sur des équipements de contrôle radiologique fixes jalonnant le parcours

des intervenants (voir infographie p7). Le premier portique – C1 – sépare la zone de travail et le vestiaire situé en zone nucléaire ; le portique C2 est à l'entrée du vestiaire en zone non nucléaire ; le C3 est en sortie de site.

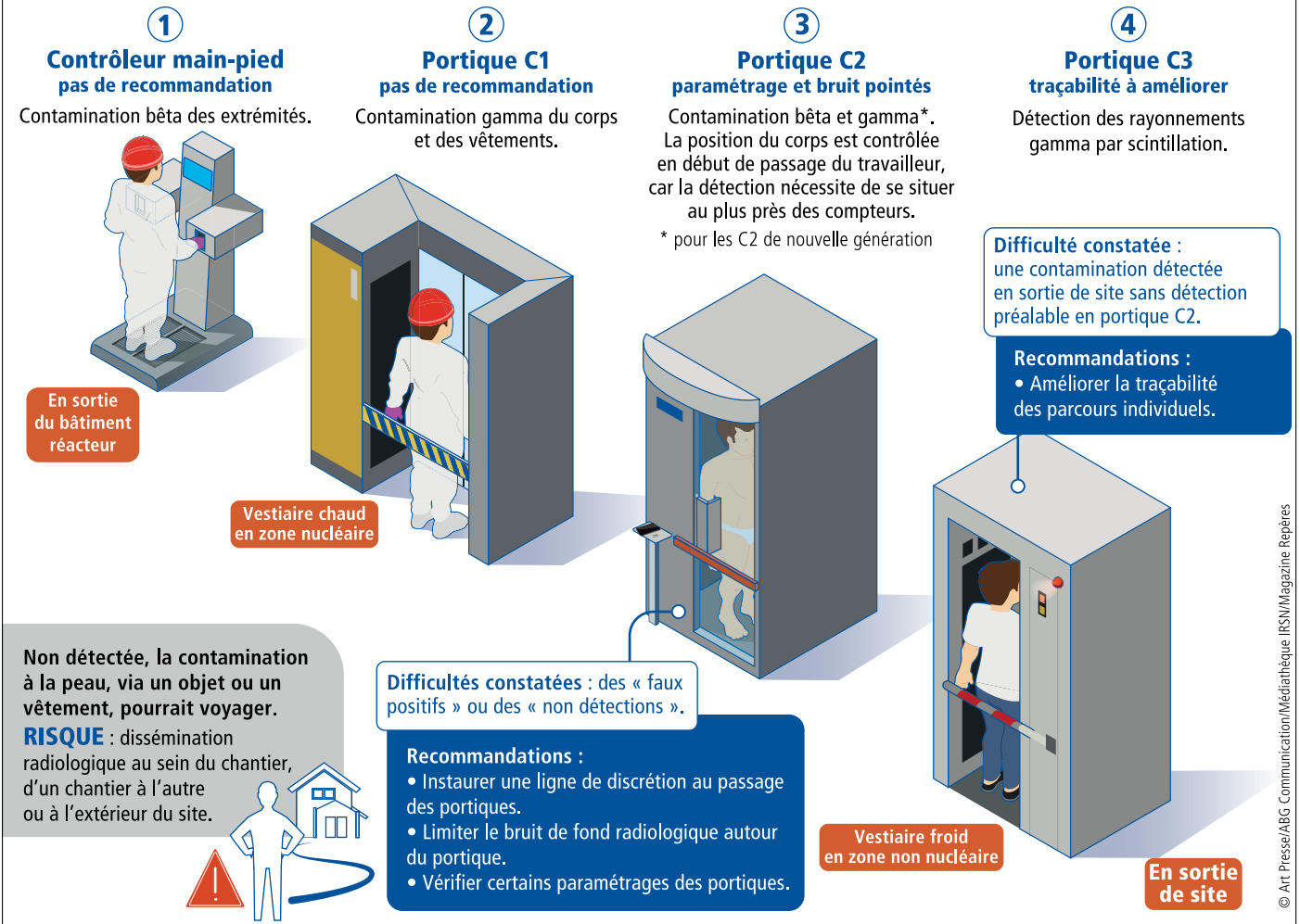
Éviter la dissémination

Le principal risque associé à la contamination des personnes, vêtements ou objets quittant un site est la dissémination vers le grand public – un ouvrier pourrait rapporter chez lui des traces de contamination ou des outils transiter vers un autre site industriel. L'affaire des wagons de transport de matières radioactives contaminés qui ont circulé sur la voie publique à Valognes (Manche) en 1997 inspire cette même année un plan de propreté radiologique. Ce plan et les suivants ont alimenté les réflexions sur la chaîne de contrôle,

PROCESS

Les recommandations de l'IRSN pour renforcer la chaîne de contrôle

Pour éviter la dissémination radiologique, la circulation à l'intérieur et en sortie d'une centrale comprend quatre étapes principales de contrôle. En tenant compte de l'ensemble de cette procédure, les experts formulent des recommandations pour les étapes 3 et 4. Elles portent par exemple sur la limitation du bruit de fond radiologique et la vérification des paramétrages.



© Art-Press/ABG Communication/Médiathèque IRSN/Magazine Repères

conduisant dans la doctrine d'EDF pour les personnes et les petits objets, à viser la détection de 0,4 Bq/cm², sans dépasser 800 Bq au total².

Le rôle des portiques est de vérifier que les personnes ne présentent pas de contamination externe (peau, vêtements) ou interne, suite à l'ingestion ou l'inhalation de radioéléments.

Une partie des 55 000 intervenants, salariés par EDF ou sous-traitants, sont concernés par les risques de contamination à la peau et de dissémination d'un chantier à l'autre ou à l'extérieur du site. Sur certains sites, l'énergéticien met de plus à l'essai l'accès des intervenants en un mode plus rapide, dit Everest. Ils accèdent à la zone contrôlée avec une tenue de travail classique et une surtenue fournie par EDF, et une fois le travail effectué, repartent avec leur première tenue. L'IRSN réa-

lise une évaluation. Elle consiste à vérifier que la chaîne de contrôle répond aux objectifs de propreté radiologique fixés par l'exploitant, notamment pour les portiques C2 les plus récents. Ces derniers mesurent deux types de rayonnements : le bêta, peu pénétrant, et le gamma, très pénétrant. « Le risque principal dans les centrales est le cobalt 60, qui émet ces deux rayonnements » rappelle Patrick Jolivet.

Construire une vision d'ensemble

À la suite de déclarations de contamination et d'un taux élevé de fausses alarmes sur ces portiques C2 de certains sites, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a saisi l'IRSN. Des détections en C3 sans déclenchement préalable en C2 avaient également été enregistrées. Ben Mekki Ayadi, expert

en radioprotection de l'Institut, a exploré les données de plusieurs milliers de déclenchements en portiques C2 et C3. Son objectif est de comprendre le lien éventuel entre des événements survenus à différentes étapes de la chaîne de contrôle.

« Nous avons désormais une vision globale des déclenchements. La traçabilité accrue des parcours individuels en cas de détection de contamination est un axe d'amélioration pour l'exploitant », souligne-t-il. Il semble nécessaire, en cas d'incident, de retracer par quels portiques est passé le travailleur afin d'identifier d'éventuelles défaillances. Les experts en métrologie cherchent à comprendre si le paramétrage du système de contrôle est en cause.

« Les incidents sont très peu nombreux au vu du nombre de passages. Nous demandons à EDF de conduire des tests

FAITS ET PERSPECTIVES



Pour intervenir dans le bâtiment du réacteur d'une centrale, une tenue de protection étanche ventilée avec un hearme ventilé est de rigueur.

© EDF - Guillaume Murat

supplémentaires démontrant que leurs étalonnages sont fiables », déclare Nicolas Brisson, ingénieur en radioprotection. Car un facteur complique la mesure : le bruit de fond radiologique. « Les valeurs visées sont si basses que l'ambiance seule peut perturber la mesure », explique Patrick Jolivet. La limitation de ce bruit de fond naturel et l'harmonisation de l'organisation – cohérence des pratiques, implication du service de radioprotection dès l'amont des procédures – font l'objet de la plupart des recommandations du rapport. EDF a initié deux actions correctives : blinder et optimiser les détecteurs de certains sites et instaurer une ligne de discrétion évitant que les personnes en attente ne perturbent les mesures en cours. Leur mise en œuvre requiert un compromis entre sûreté et durée des contrôles, parfois vécus comme une contrainte par les personnels sur le terrain. ■

1. Les événements significatifs dans le domaine de la radioprotection sont les incidents ou accidents présentant une importance particulière en matière de conséquences réelles ou potentielles sur les travailleurs, le public, les patients ou l'environnement.
2. Le Bq/cm² est une mesure d'activité surfacique, utilisée pour estimer la dose reçue à la peau.



Le portique C1 est un passage obligatoire pour sortir de la zone contrôlée.

© Laurent Zylberman/Graphic-Images/Médiathèque IRSN

WWW Pour en savoir plus : « Réacteurs électronucléaires EDF - Métrologie du contrôle radiologique des personnes et des petits objets », www.irsn.fr/Avis-2018-328

Quelle place a l'expertise IRSN chez EDF ?

Elle a toute sa place dans notre démarche de management de la sûreté. Malgré le travail amont mené avec les fabricants pour la qualification opérationnelle du matériel, un déploiement, comme celui du portique C2 de nouvelle génération, demande parfois des adaptations lors de la mise en œuvre. Notre process a repéré des difficultés d'exploitation liées aux bruits de fond élevés sur certains sites. Ce fut le cas du centre de Flamanville. Nous avons pris des mesures spécifiques : blindage et optimisation des détecteurs. L'évaluation de l'IRSN nous amène à questionner nos acquis et à confronter notre expertise et celle des constructeurs, à celle d'experts externes.

© Émilie Lestang



3 questions à...

Marc Lestang

Expert en métrologie radioprotection, EDF

Quelles suites à ces recommandations ?

Le dialogue continue. Le déploiement et l'exploitation dans des conditions industrielles des contrôles radiologiques – dont la conception est proche de celle d'instruments de laboratoire – nécessitent des optimisations. Tout changement dans cette chaîne requiert une évaluation préalable des impacts, puis un travail de sensibilisation et de pédagogie sur le terrain. Dans notre parc, il y a plusieurs centaines de portiques C2 et jusqu'à 3 000 intervenants à contrôler sur certains sites. On mesure donc à quelle échelle se pose cette problématique !

Quel dialogue avec les experts ?

Dresser un état des lieux des pratiques et retracer leur histoire conduit à se poser certaines questions. Nous avons été amenés à envisager différemment les essais de caractérisation des performances et les limites de détection, sur lesquels s'interrogeaient les experts. Nous avons échangé en gardant à l'esprit qu'il est difficile – même sur le plan international – de s'accorder sur leur normalisation.



Le camion scanner mobile des douanes françaises.

Contrôle des bagages dans un aéroport.

© Noak/Le Bras/Médiathèque IRSN

© Gwen Le Bras pour Groupe ADP

AILLEURS

Douanes et aéroports : contrôle des bagages et des marchandises

Hors des centrales nucléaires, la radiodétection intervient dans le contrôle des bagages et marchandises, aux douanes et dans les aéroports. Objectif : acquérir une image des contenus sans ouvrir les contenants et repérer des objets illicites comme de la drogue ou des explosifs. Dans les aéroports, le contrôle nécessite un appareil d'inspection, enceinte blindée renfermant un ou plusieurs générateurs électriques de rayons X. L'énergie du faisceau – émis seulement en présence d'un objet au sein de l'appareil – varie selon les dimensions des produits à contrôler.

La douane française utilise des camions scanners mobiles munis d'une autorisation quinquennale de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), après avis de l'IRSN. Pesant près de 22 tonnes, ils scannent les conteneurs de marchandises en métal. L'utilisation de ces deux types d'installations nécessite des opérateurs ayant un certificat d'aptitude à manipuler les appareils de radiologie industrielle (Camari). Délivré par l'Institut, il est valable cinq ans.

WWW Pour en savoir plus : www.irsn.fr/camari



Une goutte d'eau dans le vert

Cette buse génère des gouttelettes d'eau formant un beau rideau de pluie, nimbé du vert des lasers chargés de mesurer leur taille. Si l'image est poétique, les gouttes en question sont loin d'être anodines. Et pour cause : elles servent à capturer les aérosols issus de la découpe de matériau radioactif d'un réacteur nucléaire, nocifs en cas d'inhalation. En arrosant la zone de découpe, la buse que l'on voit ici permet leur collecte.

Bienvenue dans l'installation expérimentale Tosqan de l'IRSN, située sur le site de Saclay. Exploitée depuis vingt ans pour de nombreuses recherches, Tosqan est aujourd'hui utilisée pour le démantèlement de la centrale de Fukushima Daiichi, afin d'étudier le risque de dispersion d'aérosols lors des opérations de retrait du corium des réacteurs. Il s'agit d'expérimenter la captation des particules inférieures au micron. Celle-ci a pour objectif de maîtriser les risques d'exposition des

Emmanuel Porcheron

Expert en physique et métrologie des aérosols

ouvriers de la centrale, ainsi que les rejets vers l'environnement.

Ici, on se sert de Tosqan pour étudier le traitement d'une situation accidentelle. Au-delà, l'étude japonaise permettra de développer des connaissances pour la sûreté des opérations de démantèlement en France. La participation de l'IRSN à ce projet donne accès à des données uniques sur l'état des réacteurs accidentés. Toutes les informations collectées sont utiles pour renforcer la sûreté. ■



Jean-Paul Roche, technicien transport au sein de l'Échelon opérationnel des transports (EOT) à l'Institut, suit le trafic en temps réel.

122

événements « transport » ont été déclarés à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en 2015, soit un événement pour 7 500 colis acheminés.

Sûreté des colis de transport

Évaluer leur robustesse intrinsèque

Près d'un million de colis chargés de substances radioactives sont convoyés chaque année en France. Les experts de l'IRSN évaluent leur sûreté en vue de leur agrément pour un transport sur les voies publiques. Une démarche essentielle pour limiter l'exposition de la population et des travailleurs.

Comment la population est-elle protégée lors du transport de matières radioactives ? Comment l'intégrité des colis est-elle assurée ? Autant de questions soulevées lors du débat public organisé le 4 juillet dernier à Rouen (Seine-Maritime) sur le transport des substances radioactives¹.

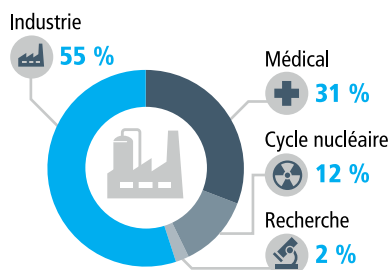
L'IRSN expertise la sûreté des colis les plus radioactifs. « Il faut compter six mois à un an pour un renouvellement d'agrément et jusqu'à cinq ans pour un nouveau modèle », précise Marianne Moutarde, experte en sûreté à l'Institut. Le dossier est confié à un binôme d'ingénieurs aux profils complémentaires, car l'expertise nécessite des savoirs pluridisciplinaires. « Un ingénieur généraliste avec une formation en génie atomique peut être associé à un thermicien », détaille l'experte.

EN CHIFFRES

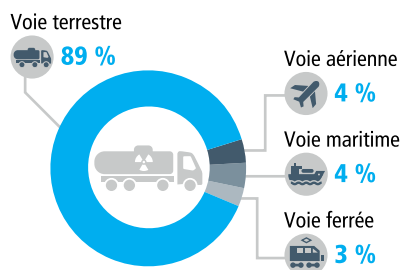
Le transport de matières radioactives en France

LES FLUX ANNUELS DE COLIS

Sur un million de colis transportés, plus de trois quarts sont liés à l'industrie et aux utilisations médicales.

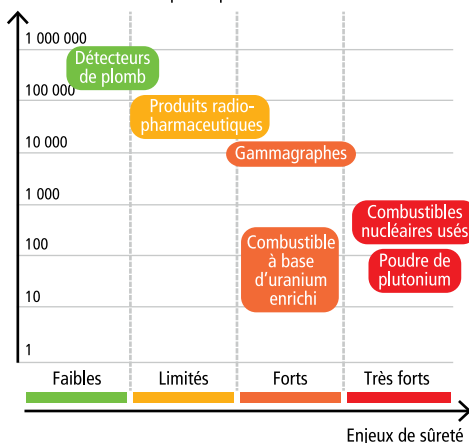


Les matières radioactives sont principalement transportées par voie terrestre.



Les enjeux de sûreté sont très forts pour une centaine de colis

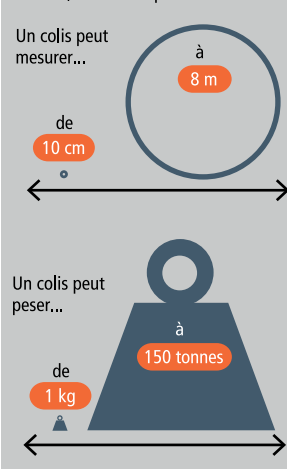
Nombre de colis transportés par an



Source : étude sur les flux de transport 2012, ASN.

Les colis sont très disparates en taille, comme en poids.

en taille, comme en poids.



© Art Presse/ABC Communication/Médiathèque IRSN/Magazine Repères

Exigences réglementaires et anticipation

L'expertise consiste à vérifier des points clés : « Comment la sûreté est-elle assurée ? La conception du colis est-elle suffisante pour garantir le confinement du contenu radioactif, la prévention de la criticité et des dommages causés par la chaleur... ? » Le niveau de protection du colis dépend du niveau de risque de son contenu.

La réglementation distingue plusieurs catégories de colis (cf. infographie). L'IRSN expertise les dossiers des colis de type B nécessaires au transport des substances les plus radioactives. En cas d'accident, celles-ci sont susceptibles de délivrer une dose supérieure à 50 mSv à une personne située, pendant trente minutes, à un mètre de la matière non emballée. Ce seuil est défini par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).

« Le colis doit être sûr pour éviter l'exposition de la population et des travailleurs en cas d'accident », déclare Marianne Moutarde. Une matière radioactive mal protégée peut provoquer « un risque d'irradiation, de propagation de particules radioactives ».



Inspection de l'IRSN au cours du chargement de matières nucléaires dans un conteneur.

© Arnaud Bouissou / Terra

1. Dans le cadre du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR).



Un essai de chute pour qualifier le comportement mécanique d'un colis.

Un essai pour caractériser la combustion du bois utilisé dans les colis.

© Noak/Le Bar Floreal/Médiathèque IRSN

© Igor Le Bars/Médiathèque IRSN



Les colis contenant les matières radioactives, comme celui-ci provenant d'une centrale de Tachkent (Ouzbékistan), sont transportés par avion.

© Sandor Tozser/AEA

« La conception du colis doit limiter les conséquences radiologiques en cas d'accident.

inhalables dans l'air, voire un accident de criticité. »

En vue de son agrément, les experts vérifient, les justifications fournies par le requérant, par exemple que le colis supporte des conditions accidentelles réglementaires : une chute de neuf mètres sur une cible indéformable, une immersion... (voir infographie page 13).

« L'industriel doit démontrer le bon comportement du colis durant les épreuves. Il utilise les tests réalisés, par exemple de chute, ou des calculs, expose l'experte. Nous vérifions que les justifications sont complètes, valables et qu'elles prennent en compte toutes les situations, notamment à risque, rencontrées par le modèle. » Après l'expertise, un avis est produit et adressé à l'ASN.

Apprendre du retour d'expérience

Le dernier accident de transport en France date de 2007. Une camionnette convoyant un colis de source radioactive heurte de plein fouet un autre camion sur la route nationale 4. La collision, très violente, est suivie d'un incendie. « Le colis a bien supporté l'accident. La protection des pompiers et des autres usagers de la route a été assurée », se souvient Marianne Moutarde.

« Le retour d'expérience montre que certains éléments de conception peuvent être améliorés », relate la spécialiste. En examinant des épreuves de chute suivies d'un incendie, les experts analysent le comportement du bois contenu dans le capot amortisseur des colis. L'objectif est de savoir si sa combustion entraîne une prolongation de la durée du feu au-delà de celle des épreuves régle-

INFOGRAPHIE



Des épreuves pour chaque type de colis
www.irsn.fr/R45

INFOGRAPHIE



Des étapes et des obligations pour autoriser un nouveau colis
www.irsn.fr/R45

INFOGRAPHIE



Que devient un colis de transport après 30 minutes de feu à 800 °C ?
www.irsn.fr/R45

mentaires – trente minutes – et, le cas échéant, un endommagement des composants importants pour la sûreté.

De son côté, Bruno Chareyron, ingénieur en physique nucléaire et directeur du laboratoire de la Commission de recherche et d'information indépendantes sur la radioactivité (Criirad), signale que les citoyens ne connaissent pas assez le logo du trèfle radioactif apposé sur les véhicules, ni les précautions d'usage à respecter pour ce type de transport, notamment ne pas stationner à proximité. Il affirme que les condi-

Suède Certains trajets sont publiés sur Internet



« Des quantités importantes de matières radioactives sont transportées en Suède uniquement par mer à bord du navire M/S Sigrïd », assure Eva Gimholtz, responsable du transport à l'autorité suédoise de radioprotection (SSM).

Le navire se déplace entre les centrales nucléaires et les sites de stockage du combustible irradié. Toutes ces usines disposent de leur propre port.

« Le public peut suivre les déplacements du navire en temps réel sur internet¹ ». Certaines données restent toutefois classées confidentielles pour préserver la sécurité des transports des matières les plus radioactives.

Les informations accessibles au public résultent d'un dialogue entre les acteurs du secteur : l'industriel, la SSM, le Conseil suédois pour les déchets nucléaires, le conseil consultatif scientifique du gouvernement, les universitaires et le mouvement environnemental.

1. <https://www.marinetraffic.com>

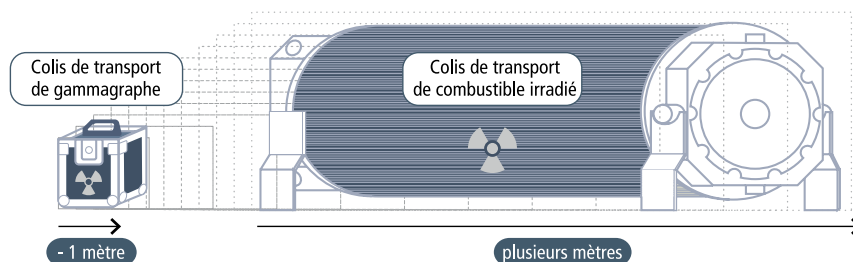
EN CLAIR

Des tests de sûreté pour les colis de transport

La réglementation distingue cinq types de colis. Le type de colis est imposé selon les risques que présente la substance à transporter. Celles qui présentent les risques les plus importants doivent être emballées dans des colis de type B. Pour s'assurer de leur sûreté lors des transports, leur conception est expertisée par l'Institut. Il rédige un avis publié sur irsn.fr.

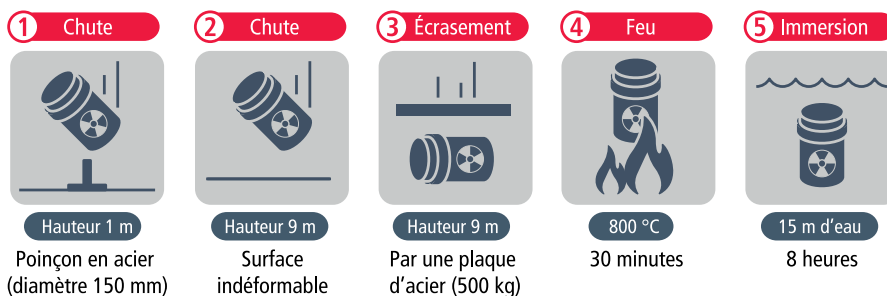
1 Les colis sont catégorisés

Les colis de type B sont disparates en taille. Ils sont conçus pour transporter de grandes quantités de substances radioactives (activité du contenu) et qui présentent une forte concentration (activité par unité de masse).



2 L'industriel réalise des tests

En raison de la dangerosité de leur contenu, les colis de type B doivent passer avec succès plusieurs épreuves sévères. Ils doivent résister à différentes situations accidentelles.



3 Les tests sont expertisés

Pour assurer la sûreté du transport des colis de type B, les experts de l'IRSN vérifient les épreuves tests réalisées par le concepteur. Ils établissent un avis de sûreté publié sur irsn.fr (rubrique avis et rapport).



© ArtPresse/ABC Communication/Médiathèque IRSN/Magazine Repères

tions d'acheminement gagneraient à être revues, en particulier lors des arrêts sur des axes d'autoroute. À plusieurs reprises, il a constaté des débits de dose élevés à proximité de véhicules de transport en stationnement, exposant les citoyens à leur insu. « *Même si elles respectent les seuils réglementaires, ces valeurs sont élevées par rapport aux normes de protection.* » La Criirad demande depuis plusieurs années aux autorités européennes et françaises de modifier la réglementation et d'abaisser les niveaux de radiation autorisés.

50 °C de plus pour certains joints

Le 23 octobre 2012, l'IRSN réalise un essai de feu. « *Il s'agit de quantifier l'impact de la combustion du bois des capots et son incidence sur le confinement* », explique Norma Verbrugghe, chargée d'évaluation du risque radiologique.

Une simulation de l'épreuve de chute sur un poinçon induit une « *ouverture en bas du capot, un trou en haut du capot et le décollement du bois de la tôle* ». Le colis n'est pas représenté, mais la puissance thermique de son contenu est simulée grâce

à un système de circulation d'huile chauffée pour reproduire les conditions normales de transport. Le capot est placé dans un bassin, au-dessus d'une quantité d'hydrocarbures suffisante pour alimenter un incendie de trente minutes à 800 °C.

« *À la fin de l'incendie, dans les trous du capot, nous observons des rougeolements caractéristiques d'une combustion, décrit la spécialiste. Le bois brûle et alimente la combustion du capot jusqu'à trois jours après l'essai. Des pics à 460 °C sur sa paroi externe, côté colis, entraînent une hausse de température sur les joints, éléments sensibles du confinement* ».

Compte tenu de cet essai, les experts recommandent de vérifier que les joints les plus exposés résistent à 50 °C de plus que le seuil préalablement accepté, afin de garantir le confinement de la matière, même en cas de combustion du capot.

Les évolutions de la réglementation concernant la sûreté des colis exigent parfois des modifications majeures pour le renouvellement des agréments, tel l'ajout de la surcoque Manon pour renforcer la protection d'anciens emballages (voir webmag). ■

À LIRE



La surcoque Manon répond aux évolutions de la réglementation
www.irsn.fr/R45

À LIRE

Retour d'expérience : le desserrage des vis des capots de colis
www.irsn.fr/R45

Matières radioactives Comment maîtriser les risques lors du transport ?

Pour assurer le bon acheminement des matières nucléaires, une unité de l'IRSN veille au grain : l'Échelon opérationnel des transports (EOT). Il gère le transport de ces matières, assure le suivi en temps réel et la logistique sur l'ensemble du trajet. Explications.

De simples bureaux dressés en face de quatre écrans. Voilà la salle principale d'action. Là, et dans une salle informatique attenante, deux équipes composées de cinq techniciens et d'une secrétaire se succèdent par roulement de huit heures pour assurer le fonctionnement de l'Échelon opérationnel des transports (EOT) de 5h30 à 21h15. Leur mission : gérer les demandes d'accord d'exécution des transports, assurer leur suivi et transmettre les alertes aux autorités¹.

« Ce métier nécessite une vigilance extrême, de la résistance au stress, des connaissances réglementaires, informatiques, mécaniques et de sécurité, explique Vincent Dupont, chef de quart à l'EOT. Nous suivons toute la matière servant au cycle du combustible, des concentrés uranifères venant des mines africaines, canadiennes et russes, jusqu'aux produits finaux et aux déchets. » L'équipe veille au transport des minerais, hexafluorure d'uranium, plutonium, combustible neuf ou irradié. « Cela représente entre 1 500 et 2 000 trajets par an. »

En amont, vérifier la conformité des demandes et étudier le parcours

L'instruction du dossier établi par le transporteur comprend des vérifications multiples. « La désignation du prestataire autorisé et la référence de l'autorisation, le mode d'acheminement, son itinéraire, sa durée, les lieux de rupture de charge et les opérations de transbordement » intéressent l'EOT. Il y a aussi « la nature et les masses de matières, le colis utilisé, le type, la référence et la date d'expiration de



l'agrément », énumère Vincent Dupont. Des inspections sont réalisées en cours de transport pour s'assurer du respect de la réglementation, par exemple la mise en place de mesures contre les actes de malveillance.

« Une fois la conformité du dossier contrôlée, nous vérifions que le convoi peut partir. La météo doit être favorable – pas de verglas – et les routes praticables. Il ne doit pas y avoir de manifestations sur le parcours. » L'EOT est en relation avec le Commandement spécialisé pour la sécurité nucléaire (CoSSeN), qui analyse les trajets via des données de police. « Si une manifestation est prévue, le transport n'a pas lieu ou devra passer par un autre itinéraire. » Cette entité est en contact direct avec d'autres services

– la direction générale de la gendarmerie nationale (DGGN) et de la police nationale (DGPN), les services du haut fonctionnaire de défense et de sécurité du ministère chargé de l'énergie, etc. – afin d'alerter rapidement en cas d'acte de malveillance.

Un suivi opérationnel pendant le trajet

« Les transports les plus sensibles² sont suivis de bout en bout et le cas échéant escortés », indique l'expert. Ils sont tenus d'emprunter des itinéraires approuvés. Les transports internationaux – livrant des centrales françaises ou transitant par l'Hexagone – sont aussi suivis « dès lors qu'ils franchissent la frontière ».

L'organisation est la clé pour minimiser le risque. Raphaël Mesnier (debout), chef de l'EOT s'entretient avec un des experts de l'équipe.

Les matières moins sensibles³ font l'objet d'un suivi régulier. « Le chauffeur doit nous contacter à chaque arrêt pour se reposer en lieu sûr – les transports pouvant durer deux à trois jours sur le territoire français – ou lors d'un bouchon, précise le chef de quart. Nous détectons s'il s'agit d'un problème sérieux ou non. Nous prenons des décisions, en concertation avec les forces de l'ordre, sur le changement éventuel de parcours. »

Pour répondre aux problèmes rencontrés en dehors des heures d'ouverture de l'EOT, il y a des astreintes le soir et en fin de semaine. Vincent Dupont se souvient : « Une nuit, nous recevons l'appel d'un chauffeur allemand. Il est 2 heures du matin. Il crie "transport kaputt, transport kaputt". Nous prenons des dispositions comme si le problème était maximal. Il ne s'agit en fait que d'un léger accident avec un véhicule sur une aire d'autoroute... Le clignotant est cassé. »

Anticiper un accident éventuel

Le règlement sur le vol et le détournement de matières nucléaires existe depuis la loi du 25 juillet 1980. Des exercices de crise en situation réelle se déroulent régulièrement pour mettre à jour les procédures et s'entraîner. La préparation du transport joue pour beaucoup. « Sur les trajets sensibles et pour des raisons de sécurité, seul un petit nombre de personnes est au courant » précise l'expert.

Les usagers attendent informations et connaissances

Près de l'installation nucléaire de Chinon (Indre-et-Loire), Michel Fiszbín, ingénieur chimiste à la retraite, s'inquiète des allées et venues de transporteurs : « Il y a quatre réacteurs en activité, trois en démantèlement, un atelier des matériaux irradiés et un magasin de combustible inter-régional », précise-t-il. Engagé depuis 2005 dans un collectif environnemental, il milite pour davantage de transparence sur « l'ampleur, la spécification et l'organisation des volumes transportés ». Partisan d'une « meilleure information des citoyens avoisinant la centrale », il souhaiterait avoir « un bilan exhaustif de l'activité des déchets et des transports autour de l'installation, et un prévisionnel sur les années à venir ». Grâce à un séminaire de l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (Anccli) en 2016, il a obtenu

CONDUCTEURS ROUTIERS

Une formation certifiante



Convoi typique pour le transport routier de déchets nucléaires radioactifs, ici à Cherbourg.

Pour transporter des matières dangereuses, les conducteurs routiers doivent suivre une formation initiale ADR¹, avec une spécialisation de classe 7 pour les matières radioactives. En France, elle est dispensée par Form-Edit et l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN). Fabien Del Signore, formateur à l'INSTN, détaille le programme : « La formation de trois jours porte sur la radioactivité et la radioprotection. Nous abordons la réglementation, l'arrimage des charges, la signalisation des véhicules, la malveillance... » Les conducteurs sont initiés à l'utilisation d'appareils de mesure. Des répétitions ont lieu pour assimiler les dispositions à prendre en cas

d'accident : balisage, alerte des autorités, éloignement du public...

L'examen certifiant est valide cinq ans.

Les conducteurs portent un dosimètre et sont suivis médicalement. « Ils sont très vigilants dans leur conduite, appuie Jean-Michel Mure, chef du bureau des transports au Commissariat à l'énergie atomique (CEA) de Cadarache (Bouches-du-Rhône). Ils ont une culture de la sûreté. Ils sont habitués aux procédures – conduite à adopter en cas de stationnement, respect des délais fixés dans les préavis de transport etc. »

¹ Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par la route.

des éclaircissements. Il aimerait que « les réunions annuelles de sa commission locale soient plus fréquentes et complétées par des newsletters régulières ». ■

¹ La réglementation sur la protection et le contrôle des matières nucléaires, de leurs installations et de leur transport (PCMNIT) relève pour l'essentiel du Code de la défense et s'applique uniquement à certaines matières nucléaires : plutonium, uranium, thorium, deutérium, tritium et lithium 6.

² Catégorie 1 – plutonium, uranium hautement enrichi en uranium 235 et combustibles MOX – et catégorie 2 – matières fissiles transportées en faible quantité, combustibles usés (UO₂ et MOX), déchets vitrifiés et déchets compactés.

³ Catégorie 3 – toutes les matières nucléaires de l'amont du cycle.

VIDÉO



Sécurité des transports : un expert raconte son quotidien

www.irsn.fr/R45



© Célia Coumand/Médiathèque IRSN

1 La cellule communication découvre les images simulées d'un accident de transport, à l'occasion de l'exercice national de crise au CTC, à Fontenay-aux-Roses, en octobre 2019.

2 Pour protéger la population et l'environnement, la cellule conséquences radiologiques propose des actions à la cellule direction du CTC.

REPORTAGE Alerte au Centre technique de crise (CTC) de l'IRSN : un accident de transport est déclaré. La situation doit être expertisée et les pouvoirs publics ont besoin de recommandations pour protéger la population en cas de rejets radioactifs.

Urgence

Réagir en cas d'accident de transport

Le 14 novembre 2019, au CTC¹, à Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine), les équipiers sont sur le qui-vive. Un accident entre deux camions, dont l'un transporte des matières radioactives, a lieu sur l'autoroute A711, au point kilométrique 2,3 entre Lyon (Rhône) et Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme). Les visages sont tendus, chacun s'affaire à sa tâche. Heureusement, ce n'est qu'un exercice ! La cellule mobile de l'Institut se trouve sur les lieux de l'accident afin de fournir des informations au CTC.

« Nous devons nous adapter à toute situation », explique Sylvie Supervil, responsable de la cellule de direction de crise (CD) lors de cet exercice. Le contexte n'est pas favorable : un incendie s'est déclaré dans un camion. Éjecté du véhicule, un des quatre colis radioactifs se trouve dans une rivière... En contact avec l'autorité compétente, la préfecture et la cellule mobile de l'IRSN, la CD établit des recommandations pour les pouvoirs publics.

Réaliser un pronostic

L'organisation de crise implique les cellules d'évaluation de l'installation (CEI), d'évaluation des conséquences radiologiques (CCR), de support logistique (CSL) et de communication (CCOM). Animatrice de la CEI, Florence Gauthier est spécialiste de la sûreté des installations nucléaires : « Nous établissons un diagnostic de l'état du colis, un pronostic de la situation et un pronostic aggravé si l'incendie n'est pas maîtrisé. Nous recevons des

informations sur le terme source – le type de matière impliquée et sa quantité – et sur l'incendie. Nous évaluons son impact sur les colis et nous soucions de l'intégrité de celui plongé dans la rivière. Nous nous assurons de l'absence de dispersion de matière, radioactive ou chimique. »

Évaluer l'impact sur la population

Emmanuel Quentric, spécialiste en évaluation des conséquences d'un rejet accidentel, anime la CCR : « Nous caractérisons la contamination, évaluons son impact sur la population et proposons des actions de protection. » La cellule suit les évolutions météorologiques, calcule les transferts atmosphériques et terrestres des contaminants et évalue les doses susceptibles d'être reçues.

« Nous confirmons le lieu exact de l'accident et inventorions les populations et les productions agricoles afin d'identifier les priorités, indique-t-il. Nous émettons un diagnostic et un pronostic avec nos outils de simulation et des mesures réalisées sur le terrain. »

La CCOM, quant à elle, diffuse aux médias et au public les résultats des mesures de radioactivité dans l'environnement et accompagne la communication des autorités « pour expliquer le risque au plus grand nombre », indique Christine Goudedranche, responsable communication de crise. ■

1. Opérationnel 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, le CTC est le centre névralgique de l'organisation de l'IRSN en cas de crise.

■ BIBLIOGRAPHIE

Rapport IRSN 2014-2015 sur la sûreté des transports de substances radioactives à usage civil sur le territoire français.
www.irsn.fr/transport-2015

Le séminaire ANCCLI
www.irsn.fr/Seminaire-HAMAVL

Le transport de matières radioactives sur le site de l'IRSN.
www.irsn.fr/transports

Repères N°15, octobre 2012
Les colis de matières radioactives soumis à rude épreuve
www.irsn.fr/R15

Repères N°18, juillet 2013
Comment se déroule l'agrément d'un nouveau colis de transport ?
www.irsn.fr/Reperes-18

Repères N°25, juin 2015
Que devient un colis de transport après 30 minutes de feu à 800°C ?
www.irsn.fr/R25

■ CONTACTS

Transports :
marianne.moutarde@irsn.fr
arnaud.aubergeon@irsn.fr

ÉOT :
raphael.mesnier@irsn.fr
vincent.dupond@irsn.fr



En France, un peu plus de 10 % des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants le sont aux neutrons : nucléaire (78%), industrie (7,7%), recherche (6,8%), santé (2%). Soit quelque 58 000 personnes.

Radioprotection des professionnels

Quelle dosimétrie face aux neutrons ?

L'ESSENTIEL En France, 58 000 travailleurs dans le nucléaire, la recherche, l'industrie sont exposés aux neutrons. Un risque délicat à traquer. Pour une meilleure prévention, les radioprotectionnistes combinent dosimètres passifs et opérationnels. Leur complémentarité assure un suivi optimal de l'exposition des professionnels. **TÉMOIGNAGE** Une ingénieure, responsable technique de radioprotection. **DÉCRYPTAGE** Dosimétrie des neutrons : choix, interprétations, bénéfices ? **AVIS D'EXPERT** Une spécialiste en dosimétrie des rayonnements ionisants.



Héloïse Mignerey

Responsable technique de radioprotection au Laboratoire d'exams des combustibles actifs (Leca) et à la Station de traitement, d'assainissement et de reconditionnement de combustibles irradiés (Star), CEA Cadarache (Bouches-du-Rhône).

TÉMOIGNAGE « Pour une radioprotection adaptée, nous traquons le neutron »

Dans notre laboratoire, trente à quarante agents, salariés du CEA et sous-traitants, sont potentiellement exposés au risque neutron. La protection est forte pour le personnel exerçant derrière les murs en béton de « la cellule », la pièce où le combustible provenant des réacteurs industriels et de recherche, mis à nu, est exploré. En revanche, lors des opérations de réception et de déchargement du combustible – celui-ci étant protégé par un château constitué de plomb et d'acier, moins performant que le béton pour arrêter le neutron – les opérateurs sont potentiellement exposés. Le radioprotectionniste est donc garant de leur protection.

Quantifier le risque

Des dosimètres d'ambiance sont mis en place au niveau des zones sensibles au neutron : en zone avant (hublots) et arrière (sas camion et arrière de la cellule). À ce jour, il n'y a pas eu d'incident, mais le seuil d'enregistrement de ces dosimètres étant de 100 μ Sv,

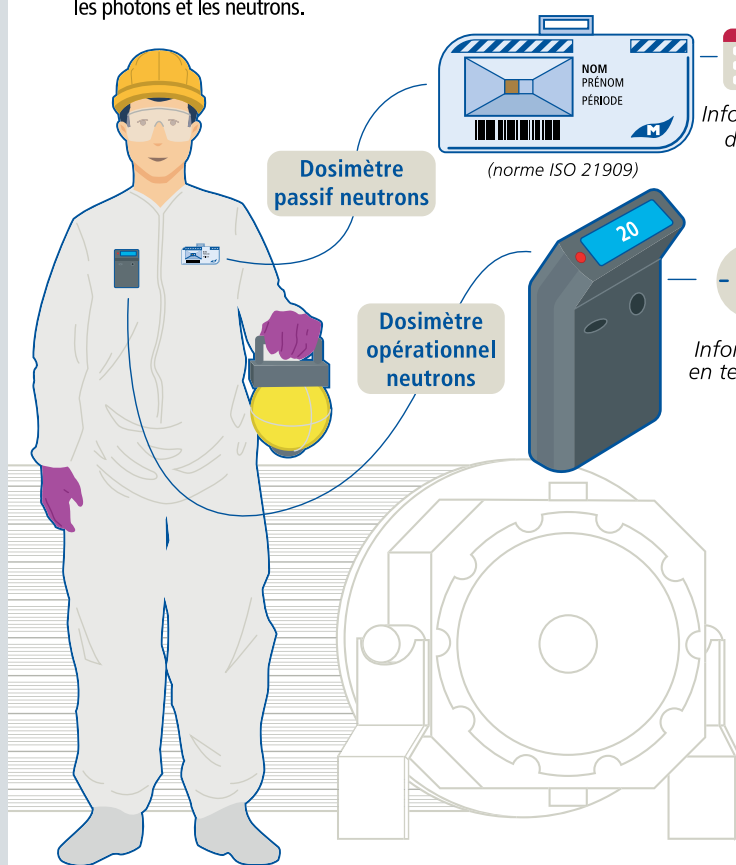
rien ne permet d'affirmer que le neutron y est absent. Pour disposer d'une étude de poste précise, nous avons lancé une « traque au neutron », une campagne de mesures à l'aide des sphères de Bonner, un instrument métrologique très sensible, communément appelé « multisphères ». Grâce à ses sphères en polyéthylène de différentes tailles, cet appareil détecte le neutron sur tout son spectre énergétique et renseigne sur le débit de dose qu'il engendre sur son passage. Actuellement, l'analyse multisphères est en cours. Nous utilisons un radiamètre neutron portable pour réaliser des mesures dans les trois zones potentiellement à risque. Dès qu'il affiche 1 μ Sv, un seuil volontairement très faible, nous demandons aux opérateurs de porter un dosimètre opérationnel pour quantifier en direct la dose reçue et leur permettre de se mettre à l'abri, si nécessaire. Ceci n'a encore jamais été le cas. Nous établissons un retour d'expérience, afin d'appréhender au mieux le risque pour les prochaines opérations. ■

Dosimétrie des neutrons : choix, interprétations, bénéfices

Pour que la dosimétrie d'un travailleur, le dosimètre opérationnel et ces différentes dosimétries aient une complémentarité visuelle.

1 | Dosimètres adaptés : différents et complémentaires

Enki manipule les châteaux de transport de matières radioactives. Il est exposé à un **risque neutrons**. Le CR a étudié les rayonnements neutroniques à son poste. **Pour optimiser son exposition**, il l'équipe d'un dosimètre passif neutrons réglementaire et d'un dosimètre opérationnel neutrons. Les deux mesurent à la fois les photons et les neutrons.



2 | La dose reçue : connue en temps réel ou en différé

Le dosimètre passif **cumule les doses**, analysées par un laboratoire accrédité en fin de port réglementaire. L'opérationnel affiche la dose en **temps réel**. En fin de journée/opération, ses données sont enregistrées dans une base de données. Ceci permet au CR d'agir, si nécessaire.

- Réglementaire, il fait foi pour tout travailleur exposé au risque.
- **Seuil à 100 µSv**, seules les expositions au-delà sont chiffrées.

Information différée

- Électronique, réglementaire dès la zone contrôlée, utilisé aussi dans une démarche ALARA*.
- **Seuil (débit et/ou cumul) paramétré** par le CR.

Information en temps réel

- En cas de dépassement, l'alarme interpelle le travailleur. Ceci contribue à optimiser sa dose quotidienne et diminue le risque.

*As Low As Reasonably Achievable



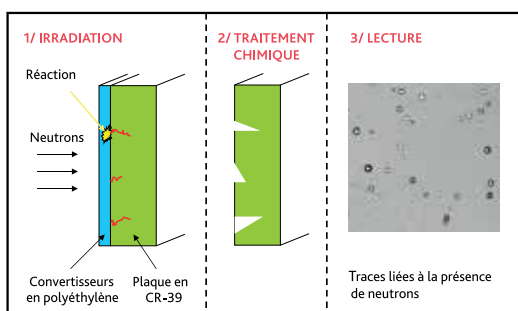
Un laboratoire accrédité rend le résultat

FAQ pour améliorer la radioprotection

Q Pourquoi mon suivi passif est inférieur au seuil, alors que la somme de mes doses opérationnelles est de 80 µSv ?

R Le suivi réglementaire apparaît comme nul en deçà de 100 µSv. De plus, les réponses en énergies de ces systèmes sont différentes. Ils peuvent chacun sur-ou sous-évaluer. Enfin, le dosimètre opérationnel peut être sensible à son environnement (champs électromagnétiques par exemple).

DOSIMÈTRE PASSIF NEUTRONS : FONCTIONNEMENT ET LECTURE DES RÉSULTATS



Exemple de polymère CR-39 : le poly-allyl diglycol carbonate, PADAC.

- 1/ Lors de l'**irradiation**, les neutrons sont détectés de manière indirecte : ils interagissent avec les noyaux d'hydrogène, créant un proton de recul qui laisse une trace latente.
- 2/ Dans le laboratoire de dosimétrie accrédité, le **traitement chimique** révèle les traces latentes des protons de recul.
- 3/ Le résultat est basé sur la **lecture** en microscopie de ces traces d'impact. L'accréditation garantit la fiabilité des mesures, mais aussi impartialité et indépendance des résultats.

LE RAYONNEMENT NEUTRON

- Gamme d'énergie très étendue : de 10^{-3} à 10^7 eV (10 ordres de grandeur)
- À une dose absorbée donnée, il produit des effets biologiques plus importants que les rayonnements X et γ . Le degré de nocivité des neutrons dépend de leur énergie.
- Détectable via particules secondaires
- Associé à un champ photonique

AVIS D'EXPERT



© Célia Goumard/Médiathèque IRSN

Marie-Anne Chevallier

Experte en dosimétrie des rayonnements ionisants

Chaque dosimétrie a ses forces et ses limites

“ Passifs ou opérationnels, les dosimètres neutrons de finalités différentes sont complémentaires et contribuent à la prévention grâce au suivi optimal de l'exposition des travailleurs. Chaque système a ses forces et ses limites. Pour renforcer la radioprotection, il faut les comprendre et bien les expliquer aux travailleurs exposés. La dose due aux neutrons dépend de leur gamme d'énergie très étendue. Il existe plusieurs types de dosimètres passifs à neutrons. Le dosimètre réglementaire, constitué de polycarbonate (CR-39), a une réponse en équivalent de dose peu dépendante de l'énergie. Il détecte les photons et les neutrons. Il est donc adapté au suivi de l'exposition sans connaissance des énergies des neutrons au poste de travail. Ce modèle est le plus répandu.

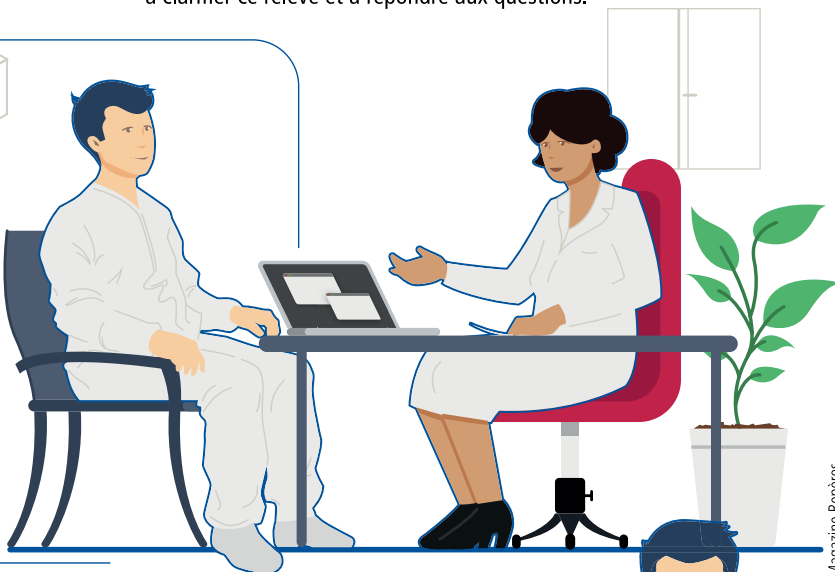
Le dosimètre passif thermoluminescent à albédo doit être calibré en tenant compte de l'énergie au poste de travail. Il est utilisé pour les postes dont la stabilité des spectres neutroniques permet une telle calibration.

Quant au dosimètre opérationnel – également à calibrer en fonction des énergies des neutrons au poste – sa force est d'alerter le travailleur en temps réel du dépassement d'un seuil réglable et déterminé à l'avance. Il l'aide ainsi à gérer son exposition.

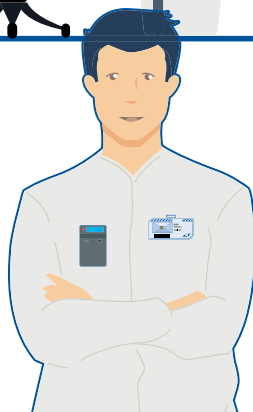
ie des neutrons assure au mieux le suivi de l'exposition conseiller en radioprotection (CR) peut associer un nnel à celui passif réglementaire. Tour d'horizon de métries. Supervisée par la médecine du travail, leur e une prévention optimale.

3 | La prévention : la médecine du travail aussi

Jacqueline, médecin du travail, reçoit et analyse les résultats d'Enki, un rôle **complémentaire** à celui du CR qui optimise la dose au fur et à mesure, grâce à la dosimétrie opérationnelle. La visite sert à communiquer les résultats, à clarifier ce relevé et à répondre aux questions.



© Art Presse/ABG Communication/Médiathèque IRSN/Magazine Repères



Q C'est mon dosimètre passif qui fait foi. Pourquoi ?

R Deux exigences garantissent sa bonne mesure : sa performance (respect de la norme ISO 21909) et la fiabilité des résultats (analyse par un laboratoire accrédité ISO 17025 indépendant)

Q Mes deux dosimètres indiquent des doses différentes. Pourquoi ?

R Cette différence interpelle souvent. Les principes de détection sont différents. Cela induit des réponses en énergie très variables d'un dispositif à l'autre.

L'ÉVOLUTION DE LA NORME

Les dosimètres passifs à neutrons sont soumis à la norme ISO 21909. Celle-ci (publication de 2005) a été révisée depuis 2012. Avec ISO 21909-1:2015, les critères et les exigences sont devenus plus stricts pour améliorer la dosimétrie au poste de travail. Cette norme est divisée en deux parties. La première fournit les tests de performances et critères associés proprement dits. La seconde indique une méthodologie pour une qualification au poste de travail.

POUR ALLER PLUS LOIN

Bilan 2018 de l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France.
<https://www.irsn.fr/Travailleurs-2018>

CONTACT

Laboratoire de dosimétrie des rayonnements ionisants.
Marie-Anne Chevallier
marie-anne.chevallier@irsn.fr



Marie-Anne Chevallier
marie-anne.chevallier@irsn.fr
01 58 35 92 41

Des citoyens sont acteurs de la surveillance de l'environnement

Lycéens, riverains de centrales nucléaires... Tous peuvent contribuer à *OpenRadiation*¹, un projet participatif à visées scientifiques et pédagogiques. L'enjeu ? Constituer une base de données citoyenne de mesures de la radioactivité ambiante.

1 Comment fonctionne le dispositif ?

« Le dosimètre d'*OpenRadiation* est constitué d'un compteur Geiger relié à une application sur smartphone¹. Celle-ci sert de moniteur, de GPS et envoie les données sur le site internet doté d'un outil cartographique », décrit Paulina Lordachi, quinze ans, élève de seconde au lycée Louis-de-Broglie à Marly-le-Roi (Yvelines). Dans cet établissement, huit passionnés de sciences encadrés par deux enseignantes, Hélène Castel et Vanessa Martin, s'engagent dans le projet de sciences participatives. Dénommé *OpenRadiation*, il mesure la radioactivité dans l'environnement. Enthousiastes, ces élèves assemblent eux-mêmes le kit du dosimètre et soudent ses composants électroniques. À tour de rôle, ils réalisent des relevés autour de la ville. « Un expert de l'IRSN est venu avec nous faire les premières mesures », se souvient Paulina. Elle énumère quelques consignes simples à respecter : se trouver à un

mètre du sol, dans un espace dégagé, attendre une cinquantaine de « coups », ce qui peut prendre deux à cinq minutes... Originaire de Moldavie, cette jeune fille, qui envisage une carrière de médecin radiologue, est marquée par la catastrophe de Tchernobyl, dont les effets se font encore sentir. « Dans mon pays d'origine, nous ne pouvons plus consommer les champignons. » Elle occupe une partie de ses vacances à mesurer la radioactivité ambiante dans la forêt de Marly-le-Roi.

1. *OpenRadiation* est conduit par l'IRSN, l'Institut français des formateurs risques majeurs et protection de l'environnement (IFFO-RME), Planète Sciences et le Fab Lab de Sorbonne Université, dans un partenariat ouvert (associations, partenaires académiques et instituts publics).

www Pour en savoir plus : <http://www.openradiation.org>

2 Qui contribue au projet ?

Les lycéens, mais aussi les professionnels, associations et particuliers peuvent s'emparer du dosimètre d'*OpenRadiation*. « Nous avons deux capteurs », précise Véronique Auguste, chargée de mission à la Commission locale d'information (CLI) de Golfèch (Tarn-et-Garonne). « L'un sert pour des mesures régulières devant notre CLI, située à 1 km de la centrale. L'autre sera mis à disposition de nos 200 membres et des maires des 106 communes relevant du PPI (plan particulier d'intervention) de la centrale de Golfèch. » Objectif ? Élaborer un programme de mesures pour mieux connaître la situation radiologique en temps réel, tout en incitant les élus à être acteurs de cette information.



3 Quel est l'enjeu scientifique ?

Géolocalisées, les mesures faites par les citoyens complètent les données issues du réseau de balises de surveillance de l'environnement déjà en place. « *Il y a une complémentarité des cartes de données* » commente Jean-François Bottollier-Depois, expert en radioprotection à l'IRSN, porteur du projet *OpenRadiation*. « *Nous avons cherché à concevoir un dosimètre aussi*

fiable que possible, malgré sa simplicité. L'incertitude associée aux relevés est de l'ordre de 20 %, ce qui est très correct. » Après deux ans d'expérience, les chercheurs confirment la pertinence des mesures effectuées. « *Les citoyens grossissent les rangs des vigies pour détecter d'éventuelles mesures anormales.* »

www Pour en savoir plus : jeanfrancois.bottollier@irsn.fr



Hélène Castel, professeure de physique au lycée Louis-de-Broglie (Marly-le Roi), et Florent Mosnier, élève, présentent *OpenRadiation*.

4 Comment les citoyens s'approprient-ils le dispositif ?

L'utilisation de ce dispositif après Fukushima montre que l'appropriation est facile. Lorsque les gens en ont la possibilité, ils s'emparent des moyens disponibles pour se forger leur propre évaluation du risque radiologique auquel ils sont exposés. Ces données complètent celles recueillies par les stations fixes existantes. En 2017, trois dosimètres *OpenRadiation* sont utilisés par les lycéens de Kamaryn en Biélorussie, située à 28 km à vol d'oiseau du réacteur n°4 de Tchernobyl. En trois mois, ils réalisent 650 mesures de débit de dose. En cas d'accident nucléaire, ces mesures de terrain complèteraient celles fournies par les différents dispositifs de l'Institut : réseau d'alerte Téléray, moyens de mesures mobiles... Elles permettraient d'avoir une vision plus complète de la situation radiologique du territoire impacté.



© Sophie Brändström/Signatures/Médiathèque IRSN

5 Quel intérêt pédagogique ?

Présenté dans le cadre de l'enseignement de la radioactivité au programme de la classe de première, le dispositif *OpenRadiation* « *donne du sens aux apprentissages. Il permet de travailler en petit comité, avec enthousiasme et passion* », confie Hélène Castel, professeure de physique au lycée Louis-de-Broglie. La contribution des élèves au projet *OpenRadiation* est basée sur

le volontariat. Ouverte à toutes les filières, l'expérience mêle sciences, électronique, numérique, mais aussi responsabilité et citoyenneté. « *En participant à la surveillance radiologique de l'environnement, élèves comme professeurs ont le sentiment d'accomplir une mission utile à tous.* »

www Pour en savoir plus : [Toutes les informations pour se procurer le dispositif sur openradiation.org](http://openradiation.org)



Le kit *OpenRadiation*.

Marine nationale

Radioprotection en rade de Brest

Des invités peu ordinaires séjournent parfois en rade de Brest : les navires et sous-marins nucléaires. Les radioprotectionnistes du site surveillent cette baie exceptionnelle et protègent des milliers de militaires, civils et riverains. Comment ?

7 janvier 2020. En cette matinée hivernale, la rade de Brest est grise. La brume s'accroche aux mâts de la flotte. Un véhicule s'arrête sur les quais. Deux techniciens en sortent dans la bruine. Leur première mission du matin : la surveillance de l'environnement. Après avoir récupéré le filtre d'un appareil de prélèvement d'aérosols de la base, ils poursuivent vers une plage à proximité. Ce tour est la routine de leur service, depuis que la base a commencé à accueillir et entretenir des bâtiments à propulsion nucléaire, en 1970. À plusieurs kilomètres à la ronde, air, eau, faune, flore, sable, sont passés au peigne fin, pour vérifier l'absence d'impact des escales brestoises de la flotte nucléaire sur la population et les écosystèmes.

En charge de cette veille le LASEM, Laboratoire d'analyses de surveillance et d'expertise de la Marine. « *Nous possédons aussi un système de surveillance nucléaire de la marine en temps réel, qui mesure et analyse des indicateurs clés, notamment dans l'air* », explique le premier maître Fabrice, radioprotectionniste. Apte à lancer l'alerte, ce système est couplé à un logiciel de gestion de crise et d'aide à la décision. En cas de problème – heureusement jamais survenu – les marins en charge de ce système partageraient certaines des données avec l'IRSN, afin de cartographier les mesures.

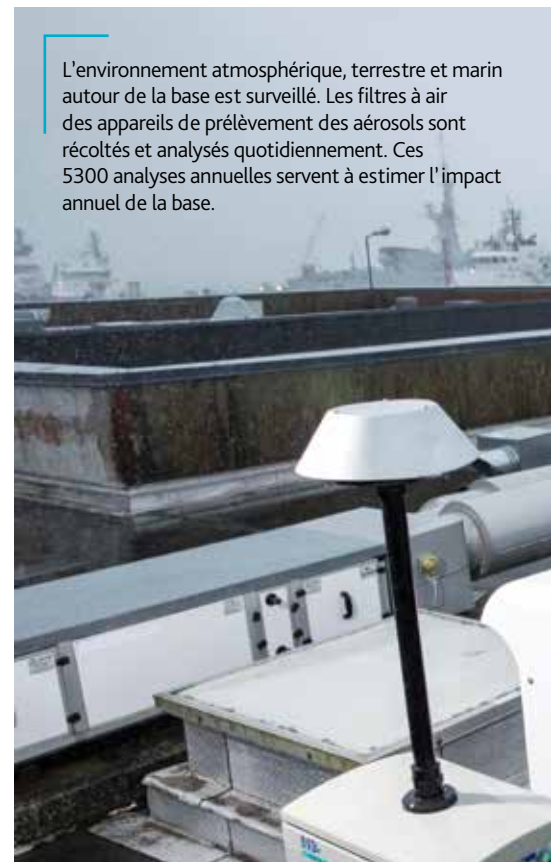
Apprendre les uns des autres

Au laboratoire qui surplombe la base, le maître Yvon, responsable des formations, prépare sa prochaine session. « *Le travail du radioprotectionniste formateur est d'expliquer et surtout de rassurer. Le plus difficile est de faire simple avec des exemples parlants* », raconte-t-il. En 2018, il a formé quelque 400 marins et civils, doublant les effectifs habituels pour répondre à la demande de l'équipage d'un sous-marin.

Ces formations théoriques et pratiques, auxquelles le maître Yvon cherche à donner un peu de légèreté, apprennent au personnel concerné par le risque radiologique à appliquer les mesures de radioprotection et maintiennent l'opérabilité des « pompiers du nucléaire¹ » locaux. « *Comme notre travail varie d'une affectation à une autre, selon le matériel et l'organisation – les véhicules d'intervention radiologique sont équipés différemment, les techniciens de radioprotection sont secondés ou non d'assistants etc. – la formation est aussi l'occasion d'apprendre les uns des autres,* » témoigne l'un de ses collègues.

L'expertise de ses radioprotectionnistes fait du LASEM une instance de conseil scientifique et technique aux autorités maritimes et un acteur engagé dans la protection des populations et de l'environnement. ■

1. Personnels de groupe 1 qui, en cas de crise, se rendent les premiers sur le site de l'incident ou de l'accident.



L'environnement atmosphérique, terrestre et marin autour de la base est surveillé. Les filtres à air des appareils de prélèvement des aérosols sont récoltés et analysés quotidiennement. Ces 5300 analyses annuelles servent à estimer l'impact annuel de la base.

DIAPORAMAS Retrouvez tous les reportages !



**Tri et décontamination :
exercices au cœur
des formations**

www.irsn.fr/R45



**Délicate surveillance
des éventuelles contaminations
faibles**

www.irsn.fr/R45



La pratique au cœur des formations

Les formations des « pompiers du nucléaire » sont en majeure partie pratiques. Exemple : pour maîtriser le fonctionnement d'un Centre de tri et de décontamination sommaire (CTDS), les exercices simulent déshabillage, douchage et contrôle. Ils aident à intégrer les règles.



La radioprotection stricte du personnel

Les dix membres du laboratoire en charge de la radioprotection suivent des règles strictes de protection. Équipements de protection – gants, blouse... – et surveillance dosimétrique passive et parfois active sont de rigueur. Les données de chaque radioprotectionniste sont analysées sur une base régulière.



Se préparer à un accident : simuler, s'entraîner

Grâce au système de surveillance nucléaire de la Marine et à des logiciels connectés, des incidents sont simulés. Ceci permet aux équipes d'intervention de s'entraîner à réagir à une situation de crise radiologique.



Assurer la maintenance du matériel

Radiamètres, spectromètres... le matériel mobile de radioprotection est contrôlé, mensuellement et annuellement en interne. Tous les trois ans, c'est une société extérieure qui effectue le contrôle périodique de l'étalonnage. Les radioprotectionnistes effectuant la maintenance portent un dosimètre passif corps entier et extrémités, et un dosimètre opérationnel.



Le risque radon est surveillé

La base navale est située dans une zone de catégorie 3 pour le risque radon, comme l'indique la carte radon de l'IRSN (www.irsn.fr//carte-radon). En concertation avec le conseiller en radioprotection, la cellule « radon » du LASEM installe les détecteurs. C'est une société extérieure qui les relèvera, puis effectuera les mesures, au plus tard deux mois après la pose.

Reportage photo : © Sophie Brändström/Signatures/Médiathèque IRSN

Neutrons Facilitez le suivi dosimétrique

Conseillers en radioprotection et médecins du travail, vous voulez optimiser le suivi dosimétrique des travailleurs ?

Le nouveau dosimètre de l'IRSN est plus compact, robuste et facile à porter. Il embarque un dosimètre radio-photoluminescent (RPL) qui détecte les rayons X, bêta et gamma, et un détecteur solide de traces nucléaires CR39 de grande surface qui détecte les neutrons rapides, intermédiaires et thermiques, sans correction d'énergie. Les résultats sont mis à votre disposition sur le portail monDosimètre et sur Siseri.



© BlackJack3D/iStock

© Grégoire Maisonneuve/Médiateur que IRSN

Pour en savoir plus

Laboratoire de dosimétrie de l'IRSN (LDI)
Tel : 01 30 15 52 22
Contact : dosimetre@irsn.fr
www.irsn.fr/dosimetrie-interne

