

N°38
JUILLET 2018

Le magazine de l'IRSN

REPERES

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

EN PRATIQUE

Quel dosimètre pour quel usage ?

DOSSIER

Séismes Un risque évalué et maîtrisé



FAITS ET PERSPECTIVES

Objets au radium :
une prise en charge
en toute sécurité



Deux publications dans la collection « Démarches de sûreté »

L'Institut développe et publie des éléments de démarches pour contribuer à faire avancer la sûreté nucléaire et la radioprotection. Deux documents sont disponibles. Le premier présente les enjeux de la conception du contrôle-commande numérique et les principes généraux à respecter. Le second concerne l'« élimination pratique » de situations accidentelles pour les réacteurs à eau de puissance.

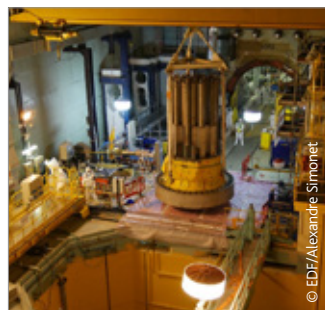
www.irsn.fr/dms-elimination

Démantèlement : un dossier à consulter sur irsn.fr

Disponible dans la rubrique « Base de connaissances », ce dossier est structuré en quatre sous-parties. Il fait le point sur les enjeux du démantèlement des installations nucléaires en

France et dans le monde, et sur la gestion des déchets. Le sujet est également illustré à travers deux exemples : le réacteur EDF de Chooz A et Superphénix.

www.irsn.fr/demantelement



© EDF/Alexandre Simonet



Aktis n° 28 est disponible

Au sommaire de ce nouveau numéro : la prédiction du devenir des radionucléides en milieu marin, un outil destiné aux calculs de doses en soutien à la radiotoxicologie

expérimentale et un nouveau modèle de comportement mécanique pour les matériaux nanoporeux. Éditée par l'IRSN, Aktis est une lettre d'information dédiée aux recherches menées par l'Institut.

www.irsn.fr/aktis28



Détailler les failles : une vidéo pour comprendre

Ce clip de quatre minutes présente les différentes méthodes géophysiques expérimentées par les chercheurs de l'IRSN pour évaluer les propriétés du sol et leur capacité à détecter des failles dans la roche. Sismique réflexion, tomographie, radiographie par muons¹... Ces méthodes complémentaires sont expliquées de façon pédagogique.

www.irsn.fr/video-failles

¹. Particules élémentaires à interactions faibles.

Agenda

Du 3 au 5 octobre 2018
Bordeaux (Gironde)

Le congrès de l'ergonomie

L'IRSN est partenaire du 53^e congrès de la Société française d'ergonomie de langue française (Self). L'ambition de cette édition est d'offrir un regard original sur les apports de l'ergonomie en fonction de la taille des entreprises, des secteurs d'activité, les territoires... et en tenant compte de la diversité des conditions d'exercice.

Plus d'information : <https://ergonomie-self.org/>

Du 12 au 15 octobre 2018
Paris

Journées francophones de radiologie

L'édition 2018 aura pour thème l'« Imagerie juste : pour un traitement ciblé et personnalisé ». Destiné aux professionnels de l'imagerie médicale, cet événement annuel est l'occasion de découvrir les dernières avancées technologiques et scientifiques et de discuter de leurs applications dans la pratique quotidienne. Il se déroulera au Palais des congrès de Paris.

Plus d'information : <http://jfr.radiologie.fr/>

6 et 7 novembre 2018
Lyon (Rhône)

Rencontres des personnes compétentes en radioprotection

La transposition de la directive européenne 2013/59 Euratom sera au cœur des débats de cette onzième édition des « rencontres PCR ». Une table ronde permettra aux participants de poser leurs questions aux représentants des administrations. Organisées par la Société française de radioprotection (SFRP), ces deux journées se dérouleront à la Cité internationale de Lyon.

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

Online WEBMAG

www.irsn.fr/R38

À LIRE



© Hervé Jomard/Médiathèque IRSN

Dossier séisme

Des failles italiennes auscultées à la loupe

DIAPORAMA



© Stéphane Bojz/Médiathèque IRSN

Italie : les experts sur les lieux du séisme

DIAPORAMA



© Noé/Le Bar Floride/Médiathèque IRSN

Reportage : le scanner des douaniers

La sécurisation du périmètre

Abonnement

POUR VOUS ABONNER :
www.irsn.fr

Rubrique l'IRSN > Publications
> Magazine Repères

Sommaire

En couverture : près de la centrale du Tricastin (Drôme), des experts relèvent les enregistrements de deux sismomètres mesurant les vibrations du sol.

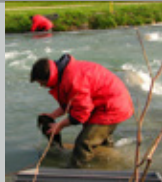
P. 4 TEMPS FORTS

Radiothérapie

Mieux protéger le cœur des femmes

Vallée du Rhône

Quand les polluants se mélangent : l'impact global calculé



P. 6 FAITS ET PERSPECTIVES

Radium

De vieux objets conditionnés en toute sécurité

P. 9 ZOOM

Quand des bactéries chargées de radionucléides s'envolent

© Michel Labelle/Signatures/Médiathèque IRSN



Le risque sismique réexaminé tous les dix ans

À la conception, toute installation nucléaire est dimensionnée pour résister à un niveau de séisme significativement plus élevé que celui du plus fort séisme connu sur la zone concernée. Ce « séisme majoré de sécurité » peut cependant évoluer au gré de l'avancée des connaissances en sismologie. Tous les dix ans, à l'occasion des réexamens de sûreté, le séisme majoré de sécurité de chaque installation est réévalué. S'il est revu à la hausse, des travaux de renforcement peuvent se révéler indispensables pour poursuivre l'exploitation. Le dossier de ce numéro de *Repères* explique comment les experts s'assurent de l'efficacité des équipements parasismiques qui protègent les installations.

Frédéric Ménage

Directeur de l'expertise de sûreté à l'IRSN

Dossier du prochain n°
Radiologie interventionnelle : la radioprotection progresse

Séismes Un risque évalué et maîtrisé

P. 17 EN PRATIQUE

Radioprotection des professionnels

À chaque situation son dosimètre

P. 20 INTÉRÊT PUBLIC

Des experts aux côtés des enseignants



P. 22 REPORTAGE

Douaniers

Scanner des conteneurs... avec précaution

REPÈRES – Éditeur : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire – 31, avenue de la Division-Leclerc, 92260 Fontenay-aux-Roses – Tél. : 0158358888 – Site Internet : www.irsn.fr – Courriel : reperes@irsn.fr – Directeur de la publication : Jean-Christophe Niel – Directrice de la rédaction : Marie-Pierre Bigot – Rédactrice en chef : Catherine Roulleau – Assistante de rédaction : Isabelle Cussinet – Ont collaboré à ce numéro : Stéphanie Clavelle, Aleth Delattre, Pascale Monti – Comité de lecture : François Bréchnignac – Rédaction et réalisation : CITIZENPRESS – Maquette et direction artistique : Vincent Dulau – Iconographie : Sophie Léonard – Photos de couverture : © Laurent Zylberman/Graphix-Images/Médiathèque IRSN, Florence Levillain/Signatures/Médiathèque IRSN – Impression : Galaxy (72) – Imprimé sur Cyclus Print – ISSN : 2103-3811 et 2491-8776 (web) – juillet 2018.

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Recherche

Thérapie innovante en cas de syndrome aigu d'irradiation

« Nous sommes parvenus à reconstituer du sang humain à partir de cellules de peau », témoigne Alain Chapel, chercheur en radiobiologie à l'IRSN. Un projet de recherche, nommé Gipsis, ouvre des perspectives pour lutter contre la destruction de la moelle osseuse chez les patients atteints d'un syndrome aigu d'irradiation¹. Il repose sur la technique iPS, qui permet d'obtenir des cellules souches de la moelle osseuse à partir de cellules spécialisées – dans ce cas, des cellules de peau. « Nous avons démontré l'efficacité de cette approche chez des souris dont la moelle osseuse avait été détruite après irradiation. » Cette technique pourrait trouver des applications pour soigner les victimes d'un accident d'irradiation ou pour traiter certaines leucémies. Gipsis a été lancé en 2014 avec l'hôpital Saint-Antoine (Paris) en collaboration avec Sorbonne Université, l'Établissement français du sang (EFS) et un soutien de la Direction générale de l'armement (DGA).

1. Le syndrome aigu d'irradiation (SAI) apparaît après une irradiation du corps entier à forte dose.

WWW Pour en savoir plus : www.irs.fr/sai

SÉISMES

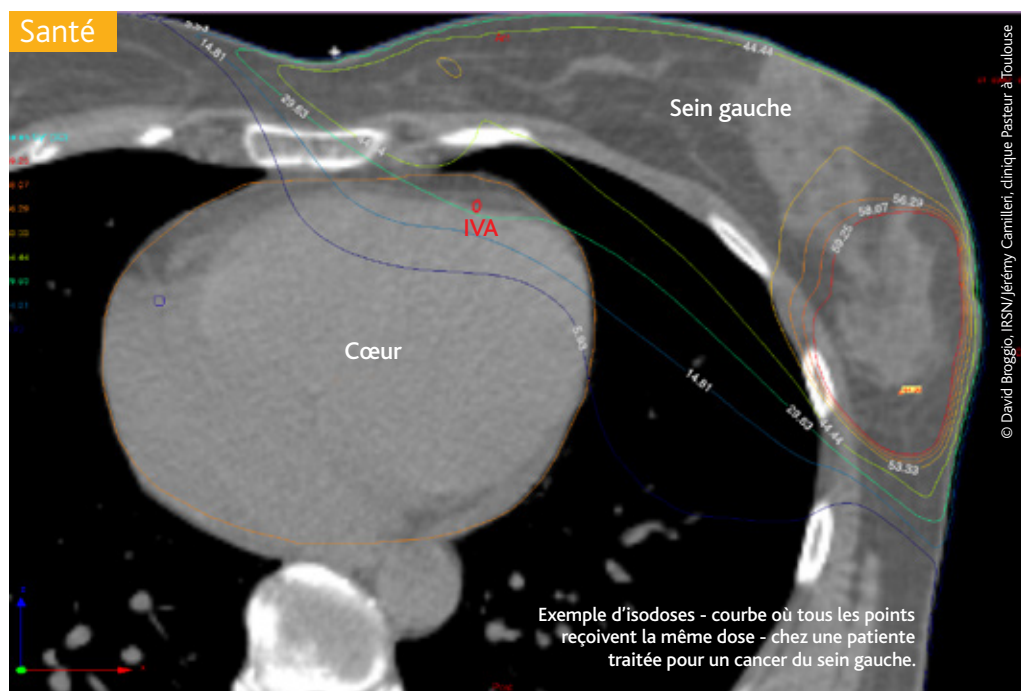
6,5

Le 30 octobre 2016, une secousse de magnitude 6,5 a frappé la région d'Amatrice, en Italie centrale.

2,5 m

Les failles provoquées par les dernières secousses sismiques en Italie centrale ont formé des « murs » de 2,5 mètres de haut. Retrouvez notre dossier sur les séismes en page 10.

Santé



Radiothérapie

Mieux protéger le cœur des femmes

Baccarat, un nom précieux pour une étude précieuse... Il s'agit d'évaluer les conséquences sur le cœur d'une radiothérapie liée au cancer du sein. Les patientes traitées ces dernières décennies présentent, dix ans plus tard, un risque d'insuffisance cardiaque multiplié par deux et une mortalité par accident cardiaque accrue de 30 %. Cette cardiotoxicité radio-induite est l'objet de l'étude Baccarat, pilotée par Sophie Jacob, chercheuse en épidémiologie à l'IRSN. Cent vingt femmes traitées entre 2015 et 2017 seront examinées juste après une radiothérapie, puis après six mois, et au bout de deux ans.

Limitier le risque de cardiopathie radio-induite

La docteure Gaëlle Jimenez, radiothérapeute à la clinique Pasteur de Toulouse (Haute-Garonne), a invité nombre de ses patientes à y participer : « Grâce aux techniques récentes d'imagerie cardiaque – échographie 2D strain et scanner des coronaires –, nous identifions les zones fonctionnelles atteintes. Des contraintes de doses encore floues, notamment pour les coronaires, seront peut-être établies. En optimisant la dosimétrie, nous pourrions limiter le risque de cardiopathie radio-induite. »

Le professeur Jean Ferrières, cardiologue au CHU de Toulouse et chercheur à la tête d'une équipe Inserm consacrée à l'étude des facteurs de risque d'athérosclérose coronaire, partage ces espoirs : « En repérant précocement les dysfonctions de la contraction cardiaque et en identifiant d'autres facteurs de risque comme des marqueurs circulants [molécules présentes dans le sang et qui sont le signe d'un problème cardiaque, NDLR], les médecins pourront organiser le suivi de ces femmes et prévenir l'apparition d'une insuffisance cardiaque. » Aujourd'hui, toutes les patientes participant à Baccarat ont bénéficié d'un examen à six mois, et les chercheurs analysent ces premières données. « Être guérie d'un cancer du sein et le payer d'une athérosclérose coronaire n'est pas une fatalité », appuie le professeur Ferrières.

WWW Pour en savoir plus : www.irs.fr/baccarat

➔ À lire sur le webmagazine « Dossier – Radiothérapie du cancer : la lutte contre les effets indésirables s'amplifie », Repères n° 36, p. 10-16. www.irs.fr/R36

Environnement



Deux techniciens de l'IRSN prélèvent des échantillons de mousse aquatique dans le Rhône.

© David Claval/Médiamatique IRSN

“ Nous allons identifier les sources de polluants à réduire en priorité.

Vallée du Rhône

Quand les polluants se mélangent : l'impact global calculé

L'impact global des pressions toxiques sur les écosystèmes aquatiques dans la vallée du Rhône est le résultat du cumul des impacts des polluants chimiques stables et radioactifs. C'est l'hypothèse de travail du projet de recherche Ipotomus¹. Les niveaux de polluants chimiques rejetés dans le fleuve – molécules organiques d'origine industrielle, produits phytosanitaires... – sont étudiés par l'Irstea², et les radionucléides – tritium, carbone 14... –, par l'IRSN. Pendant un an, les deux organismes s'associent pour rapprocher leurs bases de données et calculer l'impact global.

« Si elle se révèle pertinente, cette approche

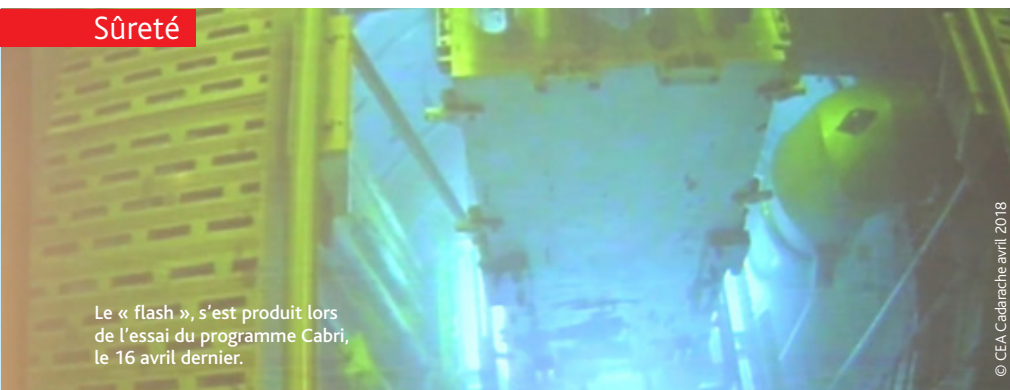
pourra être étendue à d'autres cours d'eau ou sites pollués, y compris à l'échelle internationale », indique Rodolphe Gilbin, chercheur spécialisé dans les effets des radionucléides. Lancé début 2018, le projet mobilise trois scientifiques de chaque institut. Il est financé par l'Observatoire hommes-milieux-vallée du Rhône (OHM-VR) et par le LabEx DRIIHM³, pilotés par le CNRS.

1. Impact pressions toxiques multiples.

2. Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture.

3. Dispositif de recherche interdisciplinaire sur les interactions hommes-milieux.

Sûreté



Le « flash », s'est produit lors de l'essai du programme Cabri, le 16 avril dernier.

© CEA Cadarache avril 2018

Réacteur expérimental
Un essai réussi pour Cabri

Ce « flash », capturé en vidéo, le 16 avril dernier, est un « pulse de puissance ». Il s'est produit lors du premier essai du programme international Cabri (CIP), piloté par l'IRSN - en configuration boucle à eau sous pression. Il s'est déroulé sur le site de Cadarache (Bouches-du-Rhône) du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). « Nous avons stabilisé le cœur du réacteur Cabri à une puissance quasi-nulle, puis soumis le crayon de combustible à un transitoire de puissance de 5 gigawatts pendant 25 millisecondes, explique Christelle Manenc, ingénieure chercheuse en sûreté nucléaire à l'IRSN. La dépressurisation de l'hélium 3 contenu dans les barres transitoires pro-

voque une augmentation du flux de neutrons et donc de la puissance du cœur, stoppée par des contre-réactions neutroniques. » Cet essai qualifie l'installation Cabri rénovée et nouvellement dotée d'une boucle à eau sous pression en démontrant le bon fonctionnement des circuits expérimentaux.

CIP vise à analyser le comportement du crayon de combustible et celui de sa gaine, lors d'un accident d'injection de réactivité dans les réacteurs à eau sous pression. Neuf autres essais sont prévus jusqu'en 2024.

www Pour en savoir plus : www.irsn.fr/cabri

Étude épidémiologique
Pas plus d'arythmies cardiaques à Tchernobyl

L'arythmie cardiaque n'est pas modifiée par l'exposition au césium 137 chez les enfants vivant dans les zones touchées par l'accident de Tchernobyl. C'est ce que démontre l'étude épidémiologique Epice¹. Les chercheurs ont examiné 18 152 enfants de 2 à 18 ans, près de Bryansk, dans le sud-ouest de la Russie. Les investigations menées – électrocardiogrammes, échographies, activité corporelle en césium 137 – ont permis de diagnostiquer une arythmie cardiaque chez 2 526 enfants. Une analyse statistique de ces données a montré que la prévalence de cette pathologie était plus faible dans les territoires contaminés que dans les zones non touchées. Les résultats ont été récemment publiés sur BMJ Open, la version en libre accès de la revue *The British Medical Journal*.

Mise en place en 2005 par l'IRSN, l'étude Epice s'intéresse aux effets non cancéreux potentiellement induits par des expositions chroniques à de faibles doses de rayonnements ionisants.

1. Étude des pathologies potentiellement induites par une contamination chronique au césium.



Pour en savoir plus : <http://bmjopen.bmj.com/content/8/3/e019031>



Découverte d'aiguilles de radium : trois scénarios d'exposition

Le salarié ayant son bureau à l'étage supérieur. Pour un poste à temps plein.

Dose estimée : **350 μ Sv par an**



Oubliées depuis des années, des aiguilles au radium ont été extraites à la polyclinique de Niort (Deux-Sèvres). Une évaluation dosimétrique rétrospective est effectuée. Dans les trois scénarios d'exposition, les doses sont inférieures à 1 mSv/an.

Le patient attendant en salle d'attente. Pour une attente maximale de 2 heures.

Dose estimée : **12 μ Sv par examen**



Le technicien de surface qui fait le ménage tous les jours pendant 5 minutes en moyenne.

Dose estimée : **670 μ Sv par an**



Radium

De vieux objets conditionnés en toute sécurité

Récupérer les objets contenant du radium, ayant traversé le siècle et retrouvés de nos jours : c'est une mission de l'IRSN. Des équipes interviennent sur le terrain pour évaluer le risque, caractériser et conditionner les sources radioactives jusqu'à leur mise en sécurité. Explications.

Le 14 mars 2017, le directeur de la polyclinique Inkermann, à Niort (Deux-Sèvres), informe l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) de l'existence de débits d'équivalent de dose élevés dans la salle d'attente du service de radiologie. La mesure réalisée par la personne compétente en radioprotection (PCR) atteint 46 μ Sv/h au contact d'une trappe. Plusieurs décennies auparavant, des radiothérapies utilisant le radium 226 ont eu lieu dans ce bâtiment ; la présence d'un « orum » (objet au radium à usage médical) est suspectée. L'IRSN effectue une intervention sur place pour identifier et caractériser l'ustensile en vue de sa mise en sécurité.

Les objets contenant du radium sont encore présents dans de nombreux pays dans le monde : paratonnerres, objets de fabrication ancienne – montres, boussoles... –

et matériel médical hors d'usage. Ils sont retrouvés de façon sporadique dans des établissements de santé ou chez des médecins à la retraite. Aiguilles ou sondes au radium étaient couramment utilisés au début du XX^e siècle pour soigner les cancers.

Les particuliers ignorent les risques

En France, l'IRSN est l'un des acteurs de leur prise en charge. Ces interventions sont menées par le Laboratoire d'expertise et d'intervention en radioprotection (LER). Ses équipes sont spécialisées dans la mesure radiologique et l'expertise de sources radioactives. « Nous intervenons principalement sur saisine de l'ASN et dans des délais très courts en raison du risque, précise Damien Verger, expert de l'intervention en radioprotection. Il y a surtout d'un risque

d'irradiation et de contamination si les objets sont détériorés. Les situations les plus critiques se rencontrent chez les particuliers, qui les entreposent dans une cave, un garage, un grenier, un jardin... sans soupçonner le risque encouru. » Depuis dix ans, une à deux interventions sont réalisées chaque année et plusieurs dizaines d'objets au radium sont récupérés.

Le périmètre d'action de l'Institut va de la préparation de l'intervention à la mise en sécurité des sources dans des conteneurs en plomb agréés pour le transport de matières radioactives (voir infographie). Les objets sont ensuite acheminés par l'intermédiaire d'un transport de matières dangereuses vers l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) ou bien récupérés sur place par cette dernière. Lorsque la situation ne présente pas de



Paratonnerres, montres, boussoles ou matériel médical hors d'usage... Plusieurs dizaines d'objets au radium sont récupérés chaque année.

FAITS ET PERSPECTIVES

PROCESS

Radium : comment se déroule une intervention de collecte ?

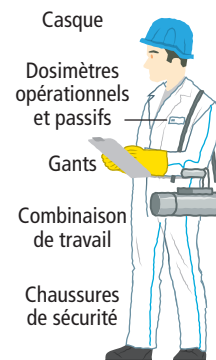
Le protocole garantit la sécurité des intervenants et du public, et évite toute contamination résiduelle après l'intervention. Exemple à la station d'épuration de Wattrelos (Nord), où un tube de radium utilisé en curiethérapie dans les années 1930 a été retrouvé.

1 Préparation de l'intervention

En amont, les équipes de l'IRSN élaborent un protocole d'intervention. Ils analysent les informations transmises pour planifier les mesures à effectuer, évaluer les risques et prévoir les équipements et matériels à emporter.

2 Approche sur le site contaminé

Les experts effectuent des relevés radiométriques et mesurent la radioactivité dans la fosse et sur l'ensemble du site. Résultat : seule une fosse présente une radioactivité anormalement élevée, due à la présence de radium 226 enfoui dans les matières de curage.

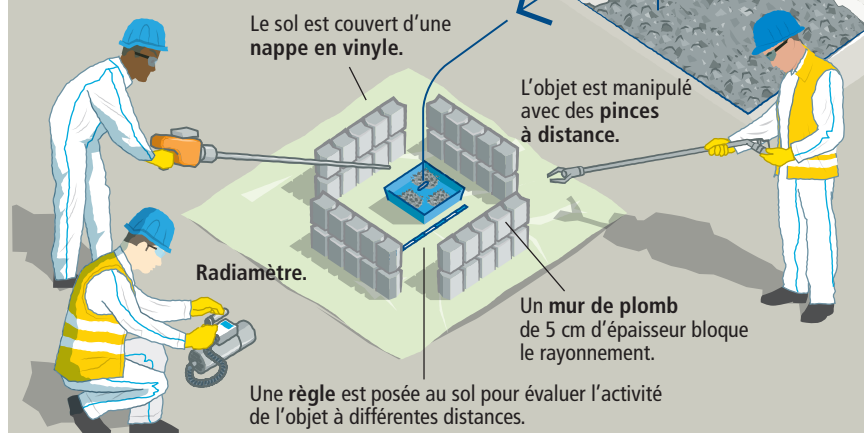


3 Disposition de la zone de travail

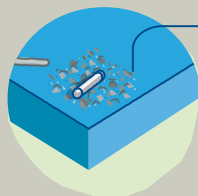
Celle-ci est adaptée aux contraintes liées à la configuration des lieux.

Des mesures radiométriques sont effectuées à l'aide d'une sonde télescopique.

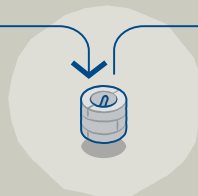
Les matières de curage extraites de la fosse sont déversées dans un bac de rétention pour faciliter le tri.



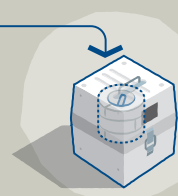
4 Récupération de l'objet



Un contrôle de la **contamination surfacique**¹ par frottis est effectué. Un échantillon de matière de curage est analysé par **spectrométrie gamma**. Des **mesures radiométriques** sont réalisées pour l'activité en radium 226².



L'objet est conditionné dans un emballage en plomb – appelé **château de plomb** – épais de 5 cm.



Le tout est disposé dans un emballage pour transport radioactif. Le colis est entreposé dans un bâtiment non utilisé et fermé à clé, dans l'attente de son enlèvement par l'Agence nationale pour la gestion des déchets.

1. < 0,04 Bq/cm² pour les rayonnements alpha ; < 0,4 Bq/cm² pour bêta et gamma
2. Elle est comprise entre 200 et 300 MBq

danger immédiat pour le public, l'Agence intervient pour extraire l'objet et le conditionner, avant de l'emporter. L'ASN se rend, elle aussi, sur le terrain. « Nous vérifions les mesures prises par le détenteur de l'objet suspect afin d'éviter tout risque d'irradiation ou de contamination du public, des travailleurs et de l'environnement, précise Francis Leblanc, inspecteur de la radioprotection de l'ASN pour la division de Bordeaux. Si ces mesures sont insuffisantes, nous effectuons des demandes complémentaires. »

Un tube de radium dans une fosse

En mai 2012, les experts interviennent à la station d'épuration de Wattrelos (Nord). L'alarme du portique de détection de radioactivité se déclenche au passage d'une benne. Les mesures réalisées par deux spécialistes de l'IRSN mettent en évidence une élévation de radioactivité dans l'une des fosses, imputable à la présence de radium 226 enfoui dans les boues de curage. Les valeurs relevées laissent suspecter un objet de type orum. L'extraction confirme cette supposition : il s'agit d'un tube de radium anciennement employé dans le domaine médical. Il est aussitôt conditionné dans un château de plomb et mis en sécurité dans l'attente de sa prise en charge (voir infographie ci-contre).

À la polyclinique de Niort, les investigations de l'IRSN conduisent à localiser la source de radioactivité dans une gaine technique située dans un mur. Cinq aiguilles de radium, utilisées par le passé pour des traitements gynécologiques, étaient stockées dans un coffre en plomb oublié là depuis des années. Elles sont rapidement caractérisées, conditionnées et isolées en attendant d'être acheminées vers l'Andra. À l'issue de l'intervention,

FAITS ET PERSPECTIVES



les experts estiment les doses reçues par les personnes qui ont pu être exposées avant que l'alerte ne soit donnée. Parmi les scénarios d'exposition retenus (voir infographie page 6), aucun n'implique une dose efficace supérieure à 1 mSv par an.

L'uranium aussi !

Parfois, des objets susceptibles de contenir de l'uranium sont découverts. En juillet 2017, un particulier habitant Verrières-le-Buisson (Essonne) signale la présence dans son garage de flacons mentionnant cet élément chimique. L'IRSN dépêche une équipe pour en déterminer le taux d'enrichissement. Préalablement à ces mesures, les experts vérifient l'ambiance radiologique du garage et en contrôlent la non-contamination. Les objets sont conditionnés sous sacs vinyles. Bilan : les flacons contiennent de l'uranium naturel – isotopes 235 et 238 en proportions cohérentes avec celles d'un uranium non enrichi.

En janvier 2018, un signalement du même type est fait par Martine Gibert, à Herblay (Val-d'Oise). « En rangeant les affaires de mon mari après son décès, raconte-t-elle, j'ai découvert des flacons dont les étiquettes m'ont inquiétée : "nitrate d'uranium", "nitrate d'uranyle"... L'équipe de l'IRSN s'est rendue à mon domicile et m'a rassurée : il s'agissait de sels d'uranium utilisés pour développer des tirages photos et, tant qu'ils étaient scellés, ce n'était pas dangereux. » Les experts lui ont toutefois demandé de les isoler en attendant qu'ils soient enlevés, pour éviter tout contact accidentel lors de visites d'amis ou d'enfants. ■

www Pour en savoir plus
• Radium : base de connaissance
www.irsn.fr/radium
• www.andra.fr/download/site-principal/document/editions/321.pdf
En cas de doute, contacter l'Andra.
Tél. : 01 46 11 83 27 – poleap@andra.fr

Quels signes présents sur un objet doivent alerter sur le risque radiologique ?

Pour les objets les plus récents, le symbole du trèfle radioactif. Pour les plus anciens, comme beaucoup d'objets au radium, cela peut être le nom du produit ou sa marque comportant le mot radium, uranium ou des dérivés. Les objets d'horlogerie fabriqués avant les années 1960 et qui brillent la nuit sans avoir été exposés à la lumière depuis au moins quarante-huit heures sont aussi suspects. Si l'objet est conditionné dans du béton ou du plomb, cela doit mettre la puce à l'oreille.

Qui paie ces interventions ?

Elles sont à la charge du détenteur s'il a utilisé ou acquis les objets pour leurs propriétés radioactives. Pour les particuliers, les communes rurales, les établissements scolaires et les services de sécurité publique (pompiers, gendarmerie...), la gratuité peut être accordée sur avis de la Commission nationale des aides dans le domaine radioactif (Cnar), qui gère une subvention publique.

Dans quelles conditions peut-on bénéficier de cette gratuité ?

En dessous de 5 000 euros, deux critères sont pris en compte : la qualité du détenteur et la nature des objets. Les objets contenant du radium et de l'uranium naturel sont éligibles, tandis que les sources scellées ne le sont pas. L'intervention est assez rapide – environ un mois. Au-dessus de ce seuil, qui correspond à un stock de plusieurs objets, l'aide est décidée au cas par cas par la Cnar. L'intervention peut alors prendre un peu plus de temps.

3 questions à... Christophe Dumas

Responsable de l'instruction des accords préalable à l'Andra



Au Brésil, des dizaines de milliers de paratonnerres ont été récupérés par l'Institut de recherche énergétique et nucléaire (Ipen).

AILLEURS

Un phénomène mondial

inaugurée en France au début du XX^e siècle, l'utilisation du radium s'est développée en Europe selon une logique économique. « Un grand nombre de montres et de réveils ont été fabriqués en Suisse et en France dans les régions frontalières du Doubs ou du Jura, explique Fabien Hubert, chef de service à la direction des opérations industrielles de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra). Des objets ont été exportés depuis la France vers les colonies, notamment en Afrique. Des paratonnerres produits en Europe occidentale ont été vendus en Turquie,

en Amérique du Sud. » Ces pays sont aujourd'hui confrontés à la même problématique : comment prendre en charge ce qu'il reste de ces objets ? Dans la plupart des États industrialisés, les procédures d'intervention auprès des particuliers sont les mêmes qu'en France. Des campagnes nationales de collecte sont organisées – objets médicaux en Belgique et au Brésil, paratonnerres en Espagne... La situation est plus préoccupante dans les pays ne disposant pas de structures de récupération de ces objets adaptées. C'est le cas en Afrique.

Quand des bactéries chargées de radionucléides s'envolent

Denis Maro

Chercheur sur le transfert des radionucléides dans l'environnement

En cas de rejets chroniques ou accidentels par des installations nucléaires, les micro-organismes présents sur la végétation – bactéries, levures, moisissures... – peuvent assimiler et concentrer les radionucléides déposés. Ces micro-organismes – ici en photo – sont remis en suspension par le vent.

Un groupe de chercheurs s'est penché sur ce phénomène peu connu dans le cadre d'une thèse achevée en 2017 par Geoffrey Pellerin. L'objectif était de mieux comprendre les mécanismes de dépôt sec en milieu prairial et de réémission des aérosols sous l'effet du

vent. Ces recherches ont porté sur l'herbe de type prairie, car les produits de consommation issus d'un tel milieu sont une composante de la chaîne alimentaire de l'homme par l'intermédiaire de l'élevage.

Les études réalisées ont montré que, même par vent faible (quelques mètres par seconde), des bactéries de moins de 1 micromètre de diamètre sont réémises dans l'atmosphère, ce qui n'est pas le cas des particules inertes (sable, poussière...). Le coefficient de remise en suspension, lié à la vitesse du vent, a pu être déterminé.

Ces résultats ouvrent des perspectives pour la

reconquête de territoires contaminés, comme à Fukushima (Japon). Mieux connaître les processus d'arrachement des particules radioactives par le vent permettrait de prédire les épisodes de remise en suspension.

De nouvelles recherches sont programmées, avec des chercheurs japonais, pour étudier d'autres micro-organismes et d'autres surfaces végétales. ■

WWW Pour en savoir plus

Thèse de Geoffrey Pellerin.
www.irsn.fr/these-pellerin



Près de la centrale du Tricastin (Drôme), deux experts relèvent les enregistrements de sismomètres mesurant les vibrations du sol.

10

Selon la loi de transition énergétique pour la croissance verte, les exploitants doivent réexaminer la protection parasismique des installations nucléaires tous les dix ans.

Séismes

Un risque évalué et maîtrisé

La France n'est pas épargnée par les risques de tremblement de terre. Comment les installations nucléaires sont-elles protégées ? Par exemple, dans la vallée du Rhône, la centrale EDF du Tricastin a été conçue pour résister à un séisme de magnitude 5,2. L'IRSN a validé les études sur la robustesse des structures et des équipements. Il réévalue, régulièrement, l'efficacité des protections parasismiques.



En août 2016, un séisme frappe le village de Castelluccio, près d'Amatrice, en Italie. Un mois plus tard, les experts de l'Institut se rendent sur place pour observer la géologie des failles.

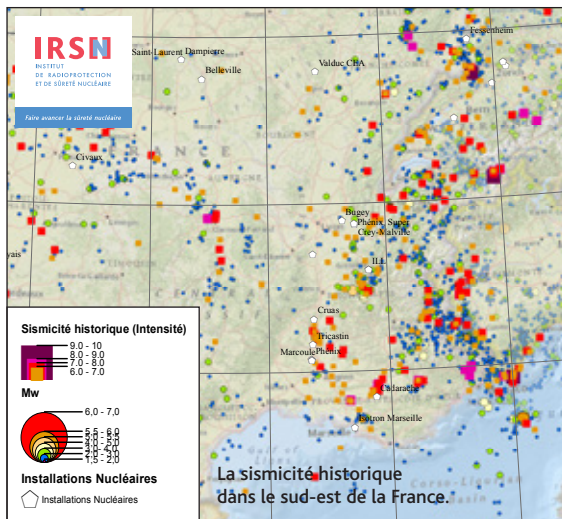


Le 12 février 2018, un séisme de magnitude 3,9 touche les environs de Saint-Hilaire-de-Voust, en Vendée. En 2016, c'est la région de La Rochelle (Charente-Maritime) qui subit un séisme de niveau 4. Cette actualité et la connaissance des événements du passé rappellent que la France possède des zones à risque et qu'il faut protéger les infrastructures sensibles qui y sont implantées. Parmi elles, les centrales figurent en bonne place. C'est pourquoi l'IRSN évalue régulièrement la résistance des installations aux risques sismiques.

Prenons un exemple : la centrale du Tricastin, dans la vallée du Rhône. Depuis sa conception, sur la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), l'Institut a vérifié un point crucial : à quelle intensité de séisme faut-il dimensionner, puis vérifier périodiquement l'installation ? Les experts parlent d'« aléa sismique¹ ». « *Ce niveau correspond au plus fort séisme historiquement connu dans la région du site d'implantation. Nous le majorons d'une demi-unité de magnitude pour prendre une marge de sécurité. C'est le "séisme majoré de sécurité" [SMS]* », résume Christophe Clément, expert en aléa sismique pour la sûreté des installations nucléaires à l'Institut.

Une réévaluation tous les dix ans

Une fois cet aléa et les mouvements de sol correspondants validés, il faut expertiser les protections prévues par l'exploitant. L'enjeu est de savoir si celles-ci peuvent résister au niveau de séisme envisagé. Mais, après construction et mise en service d'une centrale comme celle du Tricastin, comment s'assurer que ces protections restent suffisantes ? « *Tous les dix ans, lors des réexamens de sûreté, nous réévaluons le niveau d'aléa calculé par l'industriel, les dispositions de conception parasismiques retenues et les protections mises en place* », répond Jean-Philippe Tardivel, expert en génie civil. L'IRSN peut



“ Nous avons demandé des données complémentaires sur la granulométrie et la densité de la digue.

préconiser une nouvelle analyse du comportement sismique de l'installation pour tenir compte de l'évolution des connaissances. Si l'installation a subi des modifications, les éventuels impacts sur son comportement en cas de séisme sont vérifiés. En fonction des résultats, l'exploitant devra proposer des renforcements qui seront évalués par l'Institut.

Les digues doivent résister à un séisme extrême

Depuis la catastrophe de Fukushima, certains équipements essentiels d'une centrale doivent pouvoir résister à un niveau d'aléa encore plus élevé, dit « séisme noyau dur » (SND). Le mouvement du sol définissant le SND doit être au moins 50 % plus élevé que celui associé au séisme majoré de sécurité utilisé pour le dimensionnement des installations (voir encadré).

Cela concerne également certains ouvrages environnants, comme les 5 kilomètres de digues qui protègent la centrale du Tricastin d'une inondation par le canal de Donzère-Mondragon. EDF a transmis une étude concluant que l'ensemble de ces digues resteraient stables en cas de SND. À l'été 2015, l'Institut a rendu un avis sur cette étude. « Dans un premier temps, nous avons étudié les accélérogrammes² choisis par l'industriel pour réaliser son étude de stabilité », indique Christophe Clément.

Entre 2014 et 2015, pour examiner les nouveaux éléments de démonstration produits par EDF, les experts se rendent sur place afin d'étudier ces digues et leurs particularités. Ils scrutent le dossier fourni par l'exploitant, qui ne répond toutefois pas

6

La géologie des sites du Tricastin et du Blayais multiplie par environ 6 l'amplitude des ondes sismiques.

à toutes leurs interrogations. Ils mènent diverses études complémentaires : analyse indépendante de la nature des terrains constituant les digues (données géotechniques), recoupement des calculs de l'exploitant par d'autres méthodes... Ils évaluent les risques d'érosion interne des digues en terre, grâce aux méthodes scientifiques récentes validées sur des centaines d'ouvrages à travers le monde. Les ingénieurs étudient des scénarios non retenus par l'industriel, tels qu'une réplique sismique avec possible dégradation de l'étanchéité du talus sablo-graveleux – constitué de sable, graviers, limons... – du côté du canal.

Un tronçon de 400 mètres pose question

Au total, l'IRSN mobilise l'équivalent d'une année complète de travail d'ingénieur pour cette instruction. En août 2015, l'Institut rend son avis. « Dans l'ensemble, nos analyses confirment les conclusions d'EDF selon lesquelles les digues du Tricastin devraient résister en cas de séisme extrême », résume François Tarallo, expert en génie civil, qui a piloté ce dossier. Cette stabilité des digues semble même assurée au-delà d'un séisme extrême, y compris en cas de réplique, avec un risque d'érosion interne négligeable.

Toutefois, des incertitudes subsistent pour un tronçon de digue en graviers, de 400 mètres de long, situé en rive droite du canal (voir infographie). En cause : trop peu de données sur les matériaux sablo-graveleux qui le constituent. « Nous avons demandé à l'exploitant des données complémentaires sur la granulométrie et la densité de ces matériaux pour s'assurer qu'ils ne risquaient pas de se désagréger – on parle de “liquéfaction” – et donc de rendre les digues instables en cas de séisme extrême », ajoute François Tarallo.

En 2016, EDF réalise ces investigations géotechniques complémentaires sur les 400 mètres de digue concernés et conclut que la stabilité de cette portion est insuffisante. D'où la nécessité de la ren-

DIAPORAMA



Italie : les experts sur les lieux du séisme de 2016
www.irsn.fr/R38

À LIRE

Des failles auscultées à la loupe près d'Amatrice
www.irsn.fr/R38

EN CLAIR

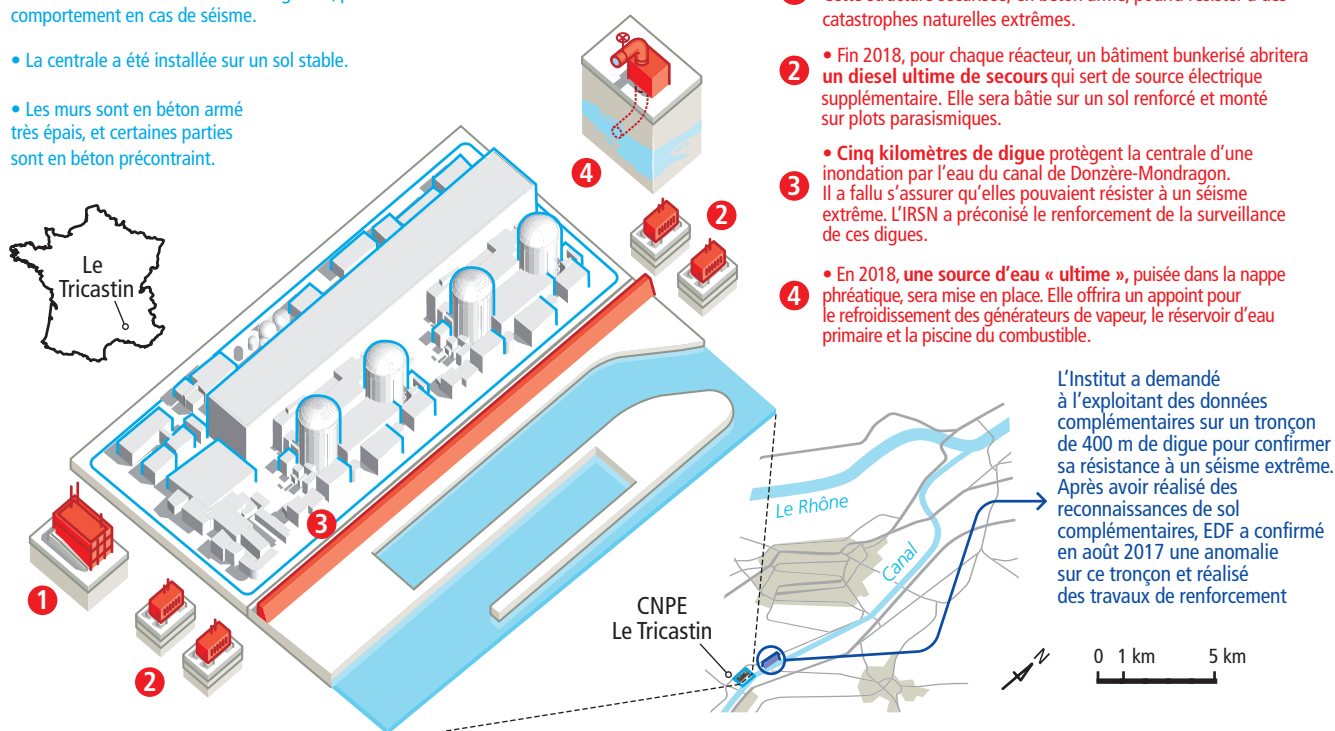
Le Tricastin : des protections parasismiques renforcées après Fukushima

Cette centrale de la vallée du Rhône a été conçue pour résister à un séisme de magnitude 5,2. Après la catastrophe de Fukushima, les experts ont défini un ensemble d'équipements ultimes capables de résister à des événements exceptionnels. Ils seront mis en place sur plusieurs années par l'exploitant.

Protections d'origine

Éléments de protection parasismique mis en place à la conception de la centrale. Ces équipements sont évalués par l'IRSN tous les dix ans.

- L'architecture des bâtiments est régulière, pour favoriser un bon comportement en cas de séisme.
- La centrale a été installée sur un sol stable.
- Les murs sont en béton armé très épais, et certaines parties sont en béton précontraint.



Protections post-Fukushima

Aménagements prévus après la catastrophe de Fukushima. Ces équipements, dits « noyau dur » devront résister à un séisme extrême.

1. Entre 2019 et 2021 sera construit un **centre de crise local**. Cette structure sécurisée, en béton armé, pourra résister à des catastrophes naturelles extrêmes.
2. Fin 2018, pour chaque réacteur, un bâtiment bunkerisé abritera un **diesel ultime de secours** qui sert de source électrique supplémentaire. Elle sera bâtie sur un sol renforcé et montée sur plots parasismiques.
3. Cinq kilomètres de digue protègent la centrale d'une inondation par l'eau du canal de Donzère-Mondragon. Il a fallu s'assurer qu'elles pouvaient résister à un séisme extrême. L'IRSN a préconisé le renforcement de la surveillance de ces digues.
4. En 2018, une **source d'eau « ultime »**, puisée dans la nappe phréatique, sera mise en place. Elle offrira un appoint pour le refroidissement des générateurs de vapeur, le réservoir d'eau primaire et la piscine du combustible.

L'Institut a demandé à l'exploitant des données complémentaires sur un tronçon de 400 m de digue pour confirmer sa résistance à un séisme extrême. Après avoir réalisé des reconnaissances de sol complémentaires, EDF a confirmé en août 2017 une anomalie sur ce tronçon et réalisé des travaux de renforcement.

forcer, pour résister à un SMS. Le 28 septembre 2017, les quatre réacteurs sont mis à l'arrêt, le temps des travaux requis par l'ASN. De nouvelles études géotechniques sont menées par l'exploitant. L'IRSN participe à une inspection, sur site.

Début décembre, les experts confirment qu'il n'y a plus de risque ni de brèche ni d'inondation en cas de SMS. Ils relèvent toutefois un risque de glissements locaux qui ne remettraient pas en question la stabilité de la digue, mais occasionneraient des dégâts. Ils recommandent un programme de surveillance renforcée : le niveau de la nappe d'eau dans la digue sera régulièrement contrôlé. Le 5 décembre, l'Autorité autorise le redémarrage des réacteurs. EDF réalisera ultérieurement des renforcements complémentaires au SND.

L'exploitant accentue la surveillance de l'ensemble des digues, le long de la partie du canal qui conduit l'eau dans la centrale pour la refroidir : le rythme des inspections visuelles et des relevés du niveau d'eau à l'intérieur de ces digues a été triplé. Un

renforcement similaire de la surveillance a eu lieu sur les digues de la centrale de Fessenheim (Haut-Rhin), dont la résistance au SND a également été examinée par les experts.

Affiner la connaissance des caractéristiques des sites

Depuis l'été 2016, des ingénieurs effectuent des études de terrain dans les zones du Tricastin et de la centrale girondine du Blayais, dont la géologie particulière semble amplifier les ondes sismiques (voir reportage page 16).

Sur le sujet des séismes, les missions de l'IRSN ne se cantonnent pas aux seules expertises et avis. Il mène aussi des recherches. Avec un nouvel objectif : développer une méthode d'analyse intégrée allant de l'évaluation de l'aléa sismique... jusqu'à ses possibles effets sur les bâtiments et les équipements qu'ils contiennent. Baptisé « aléa-structure », ce programme de recherche devrait améliorer la protection parasismique des installations. ■

1. L'aléa sismique désigne la probabilité que des séismes se produisent dans une région géographique au cours d'une période de temps donnée et occasionnent des secousses du sol dépassant un certain seuil.

2. L'accélérogramme est une analyse des valeurs d'accélération du sol en fonction du temps, produites par le passage des ondes à la suite d'un séisme.



Un expert IRSN visite les installations « noyau dur » du réacteur à haut flux de l'Institut Laue-Langevin (ILL), à Grenoble (Isère).

© Jean-Marie Huron/Signatures/Médiathèque IRSN

DÉCRYPTAGE

Ce qui a changé après Fukushima

Après la catastrophe de Fukushima, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé aux exploitants des « évaluations complémentaires de sûreté » (ECS). Un des principaux objectifs ? Vérifier le comportement des installations en cas de séisme plus fort que celui retenu pour leur dimensionnement. L'Autorité a imposé aux exploitants une proposition de l'IRSN : déployer un « noyau dur ». Il s'agit d'équipements ultimes destinés à réduire au minimum les conséquences en cas d'aléa naturel hors du commun... tel un séisme extrême. Les experts parlent alors de « séisme noyau dur » (SND). Pour calculer ce SND, une préconisation de l'Institut a été retenue : combiner la méthode « déterministe » usuelle, fondée sur le plus fort séisme historique de la zone, majoré par sécurité, et une méthode « probabiliste » où l'on retient un scénario

très rare sur des milliers envisagés. Pour les installations concernées par la mise en place d'un « noyau dur », le mouvement du sol définissant le SND doit être au moins 50 % plus élevé que celui associé au séisme majoré de sécurité (SMS) utilisé pour le dimensionnement des installations. Il doit également être au moins égal au mouvement sismique pouvant survenir une fois en vingt mille ans sur le site de l'installation. L'IRSN a évalué les SND calculés par les exploitants. Principal concerné : EDF, avec ses 19 centrales. Selon l'analyse publiée fin 2015, la moitié des données de l'industriel sont convenables. Pour l'autre moitié, il devra apporter des éléments complémentaires : autres séismes historiques à retenir, activité des failles dans un rayon de 25 km, analyse de potentiels effets amplificateurs liés à la géologie de certains sites...



© Céline Lelache/Médiathèque IRSN

THÈSE

Comment choisir les accélérogrammes ?

Exploiter davantage d'accélérogrammes naturels pour mieux protéger les installations nucléaires en cas de séisme. C'est la conclusion de la thèse réalisée par Levent Isbiliroglu, aujourd'hui doctorant à l'IRSN. Pour évaluer la résistance au séisme des bâtiments, les experts se fondent sur des enregistrements en 3D de l'accélération subie par le sol lors des secousses qui se sont produites à travers le monde ; on parle d'accélérogrammes. Ces enregistrements sont stockés dans des bases de données internationales. Les experts doivent y choisir ceux qu'ils jugent représentatifs du mouvement attendu pour le plus fort séisme possible dans la zone de l'installation concernée. Une fois sélectionnés, les accélérogrammes sont utilisés pour modéliser numériquement la tenue des bâtiments. Souvent, les ingénieurs en génie civil

n'utilisent qu'un jeu réduit d'enregistrements répondant à des critères stricts – amplitude, fréquence... – et ils les adaptent au contexte du site. Une telle approche – dont Levent Isbiliroglu a montré les limites – est dite pragmatique. Elle est susceptible de biaiser l'évaluation de la tenue sismique des bâtiments. En cause : des enregistrements se révélant très variables pour un même type de séisme. L'étude du doctorant préconise d'adopter plutôt une approche dite naturaliste. Prisée par de nombreux sismologues, celle-ci recommande d'utiliser davantage d'accélérogrammes naturels relevés sur site et d'inclure la variabilité naturelle. De quoi préserver les caractéristiques initiales des signaux, leur variabilité inhérente et améliorer la fiabilité des calculs concernant la tenue des bâtiments.

Usine de La Hague

Vers un renforcement du ferrailage des nouveaux bâtiments

Tout comme les centrales nucléaires d'EDF, les autres installations nucléaires doivent pouvoir résister à des niveaux de séisme définis selon leur implantation. Au centre de traitement de combustibles nucléaires usés à La Hague, les experts ont recommandé à l'exploitant des justifications complémentaires.



Bâtiment de stockage de déchets radioactifs de l'usine de La Hague.

Toutes les installations nucléaires doivent être protégées contre les risques sismiques. C'est le cas des installations du site de La Hague (Manche). Depuis la catastrophe de Fukushima, les éléments dits du « noyau dur » d'une installation doivent être capables de résister à un séisme extrême. L'Institut a examiné le dossier de dimensionnement de nouveaux bâtiments de ce site. Il a préconisé des calculs complémentaires qui ont conduit à un renforcement du ferrailage de leurs fondations.

Deux futurs ouvrages « noyau dur »

Lors de réexamens périodiques de sûreté, les experts ont constaté une corrosion plus importante et plus rapide que prévu des parois de six évaporateurs de solutions de produits de fission. Servant à concentrer des produits issus de la fission nucléaire, ces derniers sont en contact avec des substances très corrosives, notamment de l'acide nitrique et des ions oxydants.

« D'ici à 2022, Orano¹ va construire deux nouveaux bâtiments de plus de 26 mètres de

haut pour accueillir six nouveaux évaporateurs plus résistants à la corrosion », indique Serge Michelet, ingénieur en génie civil à l'IRSN.

Les évaporateurs sont des équipements en acier placés dans des bâtiments en béton armé. Tous les ouvrages devront résister à un séisme extrême dit SFE pour « séisme forfaitaire extrême », équivalent de la notion de « séisme noyau dur » pour EDF. L'Institut a analysé les études fournies par l'exploitant, lors de la demande d'autorisation de construction.

Prendre en compte le décollement du radier

L'analyse de l'IRSN a relevé que la méthode de calcul dynamique utilisée par Orano pour dimensionner ces ouvrages de génie civil « ne simulait pas correctement le prévisible décollement du radier² de ces bâtiments sous l'effet d'un séisme de type SFE », explique Serge Michelet.

Sur recommandation de l'Institut, l'industriel a utilisé une méthode de calcul dit temporel, prenant en compte ce décollement. Du fait de ces calculs complé-

mentaires, la quantité de ferrailage des radiers a été augmentée. Une amélioration importante, car le décollement peut avoir un impact sur le dimensionnement d'une fondation et sur la robustesse d'un bâtiment.

Autres éléments ayant particulièrement attiré l'attention des experts, les « platines ». « Il s'agit de plaques métalliques sur lesquelles se fixeront des équipements noyau dur », explique Serge Michelet. Les experts ont préconisé un contrôle strict des soudures, gage de la résistance des platines, en cas de SFE. Ils ont recommandé un état détaillé des structures de génie civil – ouvrages en béton armé, charpentes métalliques, réseau de drainage, joints entre bâtiments... – dès la fin des travaux de gros œuvre, à utiliser comme point de départ pour le plan de surveillance des deux bâtiments tout au long de leur vie.

1. Anciennement Areva.

2. Dalle en béton armé servant de fondation à un bâtiment.

© Laurent Zylberman/Graphix-Images/Médiathèque IRSN



© Laurent Zylberman/Graphix-Images/Médiathèque IRSN

1 Marc Cushing et Bérénice Froment, ingénieurs-chercheurs à l'IRSN, enfouissent un capteur sismique.

2 La station sismique mobile fonctionne de manière autonome. Le capteur sismique est alimenté par un panneau solaire et intègre un numériseur qui transforme le signal analogique capté en signal numérique.

3 Marc Cushing et Bérénice Froment collectent les données de la station sismique sur ordinateur et disque dur. Ils sont accompagnés de Begum Sariguzel, stagiaire.

4 Céline Gélis, sismologue, met en place un test en parallèle de plusieurs capteurs sismiques. Ils serviront à mesurer le bruit sismique en réseau pour caractériser la vitesse des ondes sismiques dans le remplissage sédimentaire de la vallée du Rhône. Au loin, le site nucléaire du Tricastin.

REPORTAGE Dans la vallée du Rhône et en Gironde, des sismomètres ont mesuré une amplification des ondes sismiques par certaines structures géologiques. Une information importante pour améliorer la protection des installations nucléaires contre les séismes.

Zones sédimentaires

Mesurer les « effets de site » sur le terrain

© Laurent Zylberman/Graphix-Images/Médiathèque IRSN



© Edward Cushing/Médiathèque IRSN

■ BIBLIOGRAPHIE

Agressions externes extrêmes retenues pour la mise en place du « noyau dur » des réacteurs à eau sous pression d'EDF.
www.irsn.fr/2015-00421

Centrales du Tricastin et de Fessenheim. Robustesse sismique des ouvrages de protection contre l'inondation, août 2015.
www.irsn.fr/2015-00268

■ POUR EN SAVOIR PLUS

Sur le site de l'IRSN : base de connaissances « risque sismique et installations nucléaires ».
www.irsn.fr/seisme

Repères n° 28, février 2016, « Mieux protéger les installations nucléaires après Fukushima », p. 6.
www.irsn.fr/R28

Aktis n° 22, oct.-déc. 2015, « Faire progresser la capacité d'évaluation des sollicitations sismiques et de leurs effets sur les installations », p. 6.
www.irsn.fr/aktis22

■ CONTACTS

marie-helene.bonhomme@irsn.fr
christophe.clement@irsn.fr
francois.tarallo@irsn.fr

À deux kilomètres de la centrale du Tricastin (Drôme), trois experts de l'IRSN s'activent au milieu des champs. Leur mission : relever les enregistrements de deux sismomètres mesurant les vibrations du sol en continu depuis presque un an. Le premier appareil est installé sur une zone affleurante de la roche souterraine, l'autre dans le sol sédimentaire caractéristique de la vallée du Rhône. « Ces enregistrements servent à évaluer dans quelle mesure les sédiments amplifient, par rapport au rocher affleurant, les ondes issues de séismes plus ou moins lointains », indique Marc Cushing, expert en sismicité. Cette amplification est due au piégeage des ondes sismiques par ce type de bassins sédimentaires. Elles se mettent à résonner ; cela s'appelle un « effet de site ». Près d'un champ de tournesol, Marc Cushing ouvre une boîte placée au sol et reliée par un câble à l'un des sismomètres enterrés juste en dessous. À l'intérieur : des connexions, un régulateur de charge et une

batterie alimentée par un panneau solaire. L'ingénieur-chercheur connecte son ordinateur portable qui envoie au sismomètre l'ordre de transférer les données enregistrées vers un disque dur externe. Deux heures plus tard, l'équivalent de deux mois et demi de données ont été correctement copiées.

« Ces stations ont été installées en juillet 2016, et, depuis août 2016, un dispositif similaire est opérationnel dans la zone sédimentaire de la centrale du Blayais, en Gironde », complète Marc Cushing. Les données ont été collectées et analysées par Céline Gélis, sismologue. Les résultats préliminaires indiquent que, pour ces deux sites, l'amplitude des ondes sismiques piégées dans les sédiments est multipliée par six, en moyenne. Avec ces études, il sera possible de mieux prédire les mouvements du sol en cas de séisme sur des zones à effet de site. De quoi renforcer les protections parasismiques des installations concernées. ■



Lors de l'enlèvement d'un paratonnerre, cet opérateur porte quatre dosimètres : un passif, un opérationnel, un bracelet et une bague.

Radioprotection des professionnels

À chaque situation son dosimètre

L'ESSENTIEL Opérationnels ou passifs, pour le corps, les doigts ou le cristallin... Différents dispositifs quantifient l'exposition des travailleurs aux rayonnements. **TÉMOIGNAGE** L'étude de poste, un préalable indispensable. **INFOGRAPHIE** Bien choisir son dosimètre. **AVIS D'EXPERT** Un spécialiste en métrologie.



© S. Pont

Stéphane Pont

Responsable de l'activité rayonnement chez Dekra

TÉMOIGNAGE L'étude de poste, préalable indispensable au choix de l'appareil

« L'entreprise réalise des études de poste auprès des professionnels manipulant des sources de rayonnement. Nous évaluons la dose reçue par les travailleurs et prenons des mesures préventives. Cela se fait en trois étapes.

Premièrement, nous identifions les tâches à risque pour le travailleur. Nous analysons le poste de travail – durée, fréquence d'exposition, emplacement... –, la nature de la source d'émission – type, orientation... – et les protections prévues.

Dans un deuxième temps, nous quantifions l'exposition par des calculs prévisionnels ou des mesures. Après l'analyse des pratiques, nos spécialistes choisissent les dosimètres adaptés : corps entier, cristallin ou extrémités (voir infographie p. 18-19).

Par exemple, un laborantin travaillant sur une source de rayon peut être protégé au niveau du corps par un écran plombé, mais avoir les mains

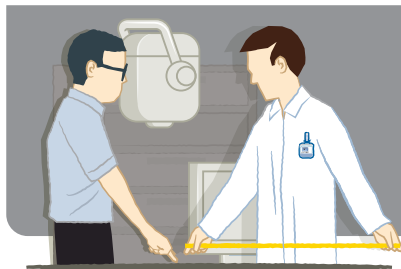
exposées pendant les manipulations. Auquel cas des dosimètres adaptés aux extrémités sont utilisés en complément.

La dernière étape consiste à classer le poste dans l'une des catégories définies par le code du travail : non exposé, cat. B ou cat. A. Ces deux dernières catégories impliquent un suivi renforcé, dont la périodicité ne peut excéder quatre ans et qui nécessite une visite intermédiaire tous les deux ans pour la cat. B, ou tous les ans pour la cat. A.

Des actions correctrices peuvent être mises en place pour garantir un niveau d'exposition aussi faible que possible. Il s'agit par exemple d'optimiser les pratiques – modification de l'orientation des sources émettrices, durée, positionnement du travailleur ou encore augmentation des distances. Enfin, un renforcement des équipements de protection individuels ou collectifs est également possible. »■

Bien choisir son dosimètre

Tous les professionnels exposés mesurant la dose reçue. En plus en fonction du lieu de travail ou



EN AMONT : L'ÉTUDE DE POSTE

Dans une installation nucléaire, un hôpital, un laboratoire de recherche, une usine agroalimentaire... une personne compétente en radioprotection (PCR) veille sur la sécurité des travailleurs. C'est elle qui réalise l'étude de poste.

Elle évalue les doses reçues par chaque personne susceptible d'être en contact avec des rayonnements ionisants. Pour cela, elle utilise des dosimètres spécifiques ou réalise des calculs. En fonction des résultats obtenus, elle choisit quels appareils seront portés.

1 Le dosimètre passif

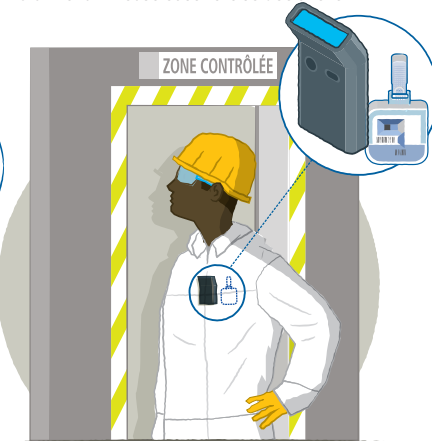
Manipulatrice dans un service d'imagerie médicale, Sarah manœuvre les appareils de radiologie et les scanners. Elle porte un dosimètre passif à la poitrine. Chaque mois, celui-ci est analysé en laboratoire. La médecine du travail connaît la dose reçue.



+ Ils portent aussi un **dosimètre passif** : toutes les personnes intervenant en zone surveillée, c'est-à-dire avec un risque d'exposition supérieur à 1 mSv par an : installations nucléaires, imagerie médicale, dentaire ou vétérinaire, médecine nucléaire, entreprises pratiquant la radiologie industrielle (gammagraphies...).

2 Le dosimètre opérationnel

Henri travaille dans l'usine de retraitement du combustible usagé. En zone contrôlée, il porte à la poitrine un dosimètre opérationnel, en plus du dosimètre passif. Si le niveau mesuré devient supérieur au seuil – débit ou cumulé – paramétré par la PCR, une alarme lumineuse et sonore se déclenche.



+ Ils portent aussi un **dosimètre opérationnel** : professionnels en zones contrôlées – risque d'exposition supérieur à 6 mSv par an : industrie nucléaire, médecine nucléaire, laboratoires, entreprises pratiquant la radiologie industrielle (gammagraphies...).

3 Le dosimètre bague

Béatrice est technicienne dans un laboratoire de recherche. Elle manipule dans une boîte à gants des matières radioactives liquides et dispersables. Elle porte une bague qui mesure la dose reçue au niveau des mains, à une profondeur de 0,07 mm.



+ Ils portent aussi un **dosimètre bague** : professionnels manipulant des produits radioactifs (radio-pharmaceutiques...), médecins nucléaires, radiothérapeutes pour certaines curiethérapies... Il existe également un **dosimètre poignet**, mesurant la dose reçue au niveau des mains et des bras.



Tableau de dosimètre

LES AUTRES ÉQUIPEMENTS

Le dosimètre d'ambiance

Mis en place par la Personne compétente en radioprotection (PCR), il mesure la zone ambiante pour s'assurer que les locaux attenants aux zones surveillées ou contrôlées ne dépassent pas les 80 µSv par mois.

Après la journée de travail

Lorsqu'il quitte une zone contrôlée et surveillée, le travailleur dépose son ou ses dosimètre(s) sur un tableau. Ce dernier est à l'abri de toute source de rayonnement, de chaleur et d'humidité.

RÉGLEMENTATION

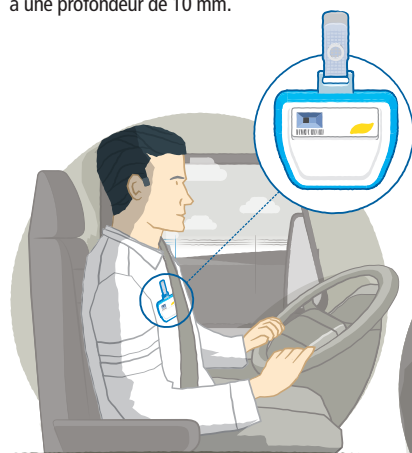
Cristallin : surveillance renforcée

Une directive européenne modifiant la réglementation pour l'exposition du cristallin vient d'être transposée en droit français. La dose limite d'exposition annuelle pour l'œil fixée à 150 mSv passe à 20mSv – la même que pour le corps entier. De quoi faire entrer la surveillance du cristallin dans les mœurs. Aujourd'hui, un millier de personnes bénéficient de ce suivi. Décret n° 2018-437 du 4 juin 2018.

aux rayonnements ionisants portent un appareil du dosimètre passif, d'autres équipements sont utilisés des risques particuliers encourus. Tour d'horizon.

4 Le dosimètre neutron

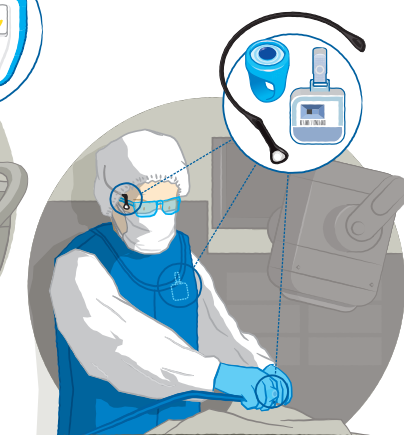
Jacques est chauffeur « de classe 7 », habilité au transport de combustible nucléaire usé entre le lieu de production et l'usine de retraitement. Il est exposé aux rayonnements gamma et neutron. Il porte à la poitrine un dosimètre qui recueille la dose reçue à une profondeur de 10 mm.



Ils portent aussi un dosimètre neutron : personnels d'industries nucléaires ou de défense, chercheurs utilisant des accélérateurs produisant des neutrons et/ou des sources radioactives.

5 Le dosimètre cristallin

Marianne est chirurgienne interventionnelle. Elle est protégée au niveau du corps par un tablier plombé, mais pas au niveau de la tête et elle peut être au contact de faisceaux d'imagerie aux rayons X diffusés et réémis vers les yeux. Elle porte un dosimètre mesurant la dose reçue par le cristallin (œil) à une profondeur de 3 mm.



Ils portent aussi un dosimètre cristallin : personnes travaillant dans des services de médecine nucléaire et dans certains laboratoires de recherche. Différents « modèles » existent : lunettes, serre-tête...

CAS PARTICULIER

Les personnels de l'aviation

Pour ces professionnels, la réglementation n'impose pas de recourir à la mesure dosimétrique. La dose reçue est déterminée par une méthode de calcul prévisionnel, historiquement privilégiée, car le rayonnement cosmique durant les vols se révèle plus homogène et prédictible que les sources ponctuelles affectant les autres professions à risque. En revanche, la réglementation impose, dans l'aviation comme ailleurs, un suivi médical et la formation de PCR.

POUR ALLER PLUS LOIN

- Bilan 2016 de l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France.

www.irs.fr/bilan-travailleurs

- Le laboratoire de dosimétrie de l'IRSN : <http://dosimetre.irs.fr>

AVIS D'EXPERT



© Alain Savary

Alain Savary

Responsable du service métrologie à l'IRSN

Convaincre les plus réticents

Beaucoup de Personnes compétentes en radioprotection (PCR) constatent que le port du dosimètre n'est pas toujours bien respecté. C'est le cas dans les milieux médicaux, où la culture de la radioprotection n'est pas aussi ancrée que dans l'industrie nucléaire. L'utilisation de ces appareils est souvent vécue comme une contrainte, ou jugée inconfortable. Un dosimètre pas ou peu porté, c'est autant d'expositions non mesurées, et donc un suivi moins fiable des travailleurs. Les populations les plus réticentes sont pourtant les plus concernées : les activités médicales représentent 2/3 de la dose totale mesurée aux extrémités, contre 22 % pour l'industrie nucléaire ! En contact avec nos interlocuteurs, les PCR ou les médecins du travail, nous veillons à expliciter les résultats de nos mesures et à les mettre en perspective afin d'apprécier le risque. Il faut aussi mieux informer sur le fonctionnement des équipements. En fin de journée, il est important de bien replacer le dosimètre à la place prédéfinie par la PCR aux côtés du dosimètre « témoin ». Ce dernier sert à mesurer la part des rayonnements naturels provenant des sols ou du rayonnement cosmique, et à déduire la dose effective liée aux activités du travailleur... Sans quoi les résultats sont moins fiables !

CONTACT

Alain Savary
alain.savary@irs.fr
 01 30 15 50 06

Des experts aux côtés des enseignants

Des experts de l'Institut apportent régulièrement leur soutien aux enseignants de lycées. Ils participent à des initiatives visant à éveiller l'attention des élèves sur les enjeux de l'exposition à la radioactivité. Retour sur cinq expériences.

1 Thérapie cellulaire : des élèves au labo

Depuis onze ans, des professeurs de sciences de la vie et de la Terre (SVT), de physique-chimie et de philosophie du lycée Notre-Dame, à Boulogne-Billancourt (Hauts-de-Seine) mènent auprès des élèves de terminale des actions de sensibilisation à la radioprotection. Parmi les thèmes abordés : les effets des rayons ionisants sur les cellules souches, ou la radiothérapie.

« Cette année, Alain Chapel, chercheur en thérapie cellulaire à l'Institut, a exposé sa démarche scientifique devant un groupe de dix élèves volontaires », explique Claire Schneider, professeure de SVT. Quelques semaines plus tard, le chercheur a reçu les lycéens dans son laboratoire à Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine).

Ils y ont réalisé une expérience. Le compte rendu a été présenté en mars lors des Ateliers de la radioprotection. « Les jeunes ont été considérés d'égal à égal. Ils ont réellement apprécié de changer de cadre et d'agir comme des chercheurs », se réjouit l'enseignante.

WWW CONTACTS

Ateliers de la radioprotection :
sylvie.charron@irsn.fr

Action éducation :
fabrice.ecrabet@irsn.fr



© Pascale Monti / Médiathèque IRSN

Des lycéens découvrent le laboratoire de radiobiologie des expositions médicales de l'IRSN.



Des élèves du lycée Louis-de-Broglie de Marly-le-Roi (Yvelines) ont travaillé sur la phyto-remédiation.

2 Une émission de radio sur le nucléaire

« Depuis plusieurs années, le lycée Van-Gogh d'Aubergenville (Yvelines) accueille l'exposition itinérante de l'IRSN sur les risques de la radioactivité¹, explique Alexandre Germoni, professeur de physique-chimie. En avril 2017, nous avons impliqué davantage les élèves. » Deux scientifiques, Michel Bourguignon, spécialiste en médecine nucléaire, et Fabrice Ecrabet, ingénieur en neutronique, ont été les invités d'une émission de vingt minutes diffusée sur la webradio de l'établissement. Six élèves de première S ont mené les interviews, sur

les thèmes de la médecine nucléaire et de la découverte de la radioactivité. Ils ont proposé une chronique imaginant un monde sans nucléaire. L'émission a été suivie d'une session de questions-réponses avec l'ensemble de la classe. « Le projet les a passionnés. Ils m'en parlent encore une année plus tard », affirme Alexandre Germoni.

1. <http://www.irsn.fr/expo>

WWW Pour en savoir plus
www.lyc-vangogh-aubergenville.ac-versailles.fr/spip.php?article325



Deux scientifiques de l'Institut participent à une émission de radio animée par des lycéens d'Aubergenville (Yvelines).

3 Des travaux pratiques sur la phyto-extraction

Depuis trois ans, Hélène Castel, Béatrice Casanova et Corinne Fonta, enseignantes au lycée Louis-de-Broglie, à Marly-le-Roi (Yvelines), animent un club scientifique. « *Nous travaillons cette année sur la contamination de plantes poussant sur des sols pollués*, explique Corinne Fonta, professeure de SVT. *En septembre, nous avons reçu l'appui de deux spécialistes de la phyto-remédiation de l'IRSN, Karine Beaugelin et Pascale Henner, de Cadarache (Bouches-du-Rhône). Elles nous ont proposé un protocole d'expérience de phyto-extraction.* » Pendant plusieurs semaines, les quatorze élèves du club ont cultivé deux espèces

de plantes communes sur un terreau contaminé au césium 133 - utilisé pour simuler l'élément radioactif - et sur un terreau sain. Ils se sont ensuite rendus dans deux laboratoires de l'Institut situés au Vésinet (Yvelines) - « surveillance de l'environnement par échantillonnage » et « expertise, de radiochimie et de chimie analytique ». Ils ont mesuré la quantité de césium 133 absorbée dans les deux espèces de plantes, contaminées et non contaminées, grâce à un spectromètre de masse. Les élèves ont présenté ce projet à la finale du concours CGénial et remporté le 1er prix ex-aequo avec 4 autres lycées.



Un expert de l'IRSN présente aux lycéens un dosimètre passif.

© Uriel Chantaine/Médiathèque IRSN

4 Les lycéens se penchent sur les radiations en avion

À quels rayonnements sont exposés les voyageurs et le personnel navigant lors d'un voyage en avion ? C'est la question que s'est posée un groupe de sept élèves volontaires, en classe de seconde au lycée de l'Europe, à Dunkerque (Nord). De septembre à décembre 2017, le groupe a réalisé un travail de recherche documentaire pour repérer les sources possibles de radioactivité – scanners de bagages, rayonnements cosmiques pendant le vol, etc. Ils ont ensuite reçu la visite de Jean-François Bottollier, chercheur spécialisé dans la mesure de doses reçues par les équipages. Celui-ci les a aidés à préciser leurs conclusions. Les élèves ont présenté leurs travaux aux Ateliers de la radioprotection. « *Ils ont apprécié ce mode d'apprentissage original*, résume Régine Dubiez, professeure de physique. *L'échange avec un scientifique spécialisé leur a apporté de la matière pour enrichir leurs recherches. Ils ont pu confronter leur approche avec celle d'un chercheur.* »

5 Deux cents jeunes aux Ateliers de la radioprotection

L'édition 2018 des Ateliers de la radioprotection s'est déroulée à Lyon du 19 au 21 mars. L'événement a réuni des experts, des enseignants et près de deux cents jeunes venant de plusieurs lycées français, mais également d'Allemagne, d'Ukraine, de Biélorussie, de Moldavie et du Japon. Tout au long de l'année, les élèves, sous la conduite de leurs professeurs et avec l'assistance d'experts, réalisent des travaux

pratiques autour du thème de la radioprotection. Lors des rencontres, ils présentent leurs travaux et échangent leurs expériences dans une ambiance conviviale. « *Ces trois jours ont donné lieu à de véritables partages intellectuels, avec une émulation entre tous les participants, jeunes et adultes* », résume Claire Schneider, professeure présente à l'événement.

www Pour en savoir plus
www.lesateliersdelaradioprotection.com/

Douaniers

Scanner des conteneurs... avec précaution

Pour lutter contre la fraude, la douane française utilise des camions scanners mobiles. Ils radiographient les véhicules et les conteneurs dans le respect des principes de radioprotection.

Les piles de conteneurs multicolores se détachent sous le ciel bleu de Provence comme les briques d'un jeu de construction géant. À côté de Marseille, le terminal portuaire de Fos-sur-Mer (Bouches-du-Rhône) constitue un des principaux points d'entrée et de transit des marchandises en France.

Ce 6 mars 2018, un camion scanner mobile de la douane¹ prend position dans le terminal EuroFos. Il diffuse des rayonnements ionisants, et des mesures de radioprotection sont mises en place. Les douaniers sécurisent le périmètre avec des balises infrarouges.

Le camion possède son propre équipage de quatorze personnes : opérateurs images et systèmes, tous détenteurs du Camari². Depuis la cabine de pilotage blindée, un agent déploie le bras articulé qui contient le scanner à rayons X. Dans une seconde cabine, elle aussi doublée de plomb, un opérateur surveille le périmètre sécurisé et analyse l'image. Des dosimètres actifs sont disposés dans chaque cabine et à l'entrée du secteur circonscrit.

Jean-Pierre Rittie, chef du service douanier de la surveillance, coordonne l'opération. Il mesure le bruit de fond avec un radiamètre, puis fait procéder à un tir à blanc pour contrôler l'équivalent de dose en limite de zone : l'aiguille ne dépasse pas les 2,4 μSv . « La dose de rayons X émise lors d'un examen est très faible : environ 0,003 mSv/scan³ sur le véhicule radiographié. En limite du périmètre, cette dose est quasiment nulle », souligne-t-il.

Détecter des marchandises suspectes

Un chariot cavalier positionne les conteneurs à contrôler. Des échanges radios confirment que la zone est dégagée. Personne ne se trouve dans le périmètre de sécurité. La radiographie peut commencer. « Image acquise ! » signale par radio Régis Friedrich, l'opérateur chargé d'analyser l'image. Au rythme du ballet des chariots



Les chariots cavaliers installent les conteneurs à scanner sur une plateforme. Le camion se positionne ensuite de manière à les encadrer de son bras et les longe en roulant pour réaliser son scan.

cavaliers, les conteneurs se succèdent, chargés des marchandises les plus diverses. La vingtaine de conteneurs à radiographier a été sélectionnée par une cellule de ciblage de la douane. Quand l'opérateur image signale un doute, le conteneur suspect est placé dans une zone de vérification pour inspection. « L'image permet aussi de savoir précisément où chercher dans le conteneur ou le véhicule », précise Régis Friedrich. « Sans danger pour nos agents ni pour le public, à condition de prendre quelques précautions, nos camions scanners mobiles, qui travaillent tous les jours un peu partout en France, se révèlent être des outils efficaces pour un contrôle très rapide », conclut Jean-Pierre Rittie.

1. Outre ses équipements fixes, la douane française possède trois camions scanners mobiles disposant d'une autorisation quinquennale délivrée par l'ASN.
2. Certificat d'aptitude à manipuler les appareils de radiologie industrielle (Camari).
3. À titre de comparaison, la dose effective pour une radiographie thoracique est de 0,02 mSv.

DIAPORAMA

Retrouvez tous les reportages !

La sécurisation du périmètre

www.irsn.fr/R38



Quatre balises infrarouges installées

Elles forment un rectangle de 40 mètres sur 30. Si le signal entre elles est rompu, le scan ne peut pas démarrer ou s'interrompt automatiquement. Un écran est installé dans la cabine image du camion pour visualiser le périmètre : si le rectangle est vert, le périmètre est sécurisé, s'il s'affiche en rouge, il y a eu intrusion et le scanner s'arrête. Une douzaine de boutons d'urgence permettent un arrêt manuel à tout moment.



Le camion scanner mobile

Le véhicule utilisé par la douane française pèse près de 22 tonnes, son bras articulé s'élève jusqu'à 4,65 m et scanne les conteneurs à travers le métal, à une vitesse de 12 ou 24 m/min. L'équivalent de dose mesuré dans la cabine blindée ou en limite de périmètre de sécurité n'excède pas, en moyenne, 0,5 $\mu\text{Sv/h}$ ou 1 mSv/an.



Contrôle visuel de la radiographie

Régis Friedrich, le douanier opérateur image, contrôle un conteneur d'armoires électriques. Il vérifie la conformité du chargement avec la fiche descriptive et recherche d'éventuelles anomalies visuelles qui laisseraient soupçonner une fraude.



Les dosimètres individuels

Comme tous ses équipiers, Jean-Pierre Rittie, chef du service douanier de la surveillance adjoint et Personne compétente en radioprotection (PCR), porte un dosimètre passif individuel trimestriel. Les douaniers de Port-Saint-Louis-du-Rhône (Bouches-du-Rhône) qui accompagnent l'équipage du camion scanner mobile pour contrôler la marchandise suspecte portent en plus des dosimètres opérationnels.

Surveillance de la zone

À Euro-Fos, les conteneurs entrent et sortent par le même côté dans le périmètre sécurisé pour le contrôle radiologique. Les douaniers se postent devant cet accès afin d'empêcher toute intrusion dans la zone.

© Reportage photo : Noak/Le Bar Floréal/Médiathèque IRSN



Maîtrisez le risque incendie

Vous souhaitez réaliser des expérimentations, des essais ou des recherches portant sur la maîtrise des risques d'incendie dans des installations industrielles? L'IRSN vous propose ses plateformes expérimentales de pointe. Situé à Cadarache, le Laboratoire d'expérimentation des feux (LEF) dispose de plusieurs plateformes d'essais regroupées sous le nom de Galaxie. Elles permettent, de par leur diversité, d'étudier des feux de différentes natures et de tailles diverses dans de multiples configurations. Le dispositif Diva, par exemple, permet de réaliser de feux pouvant simuler des conditions représentatives d'installations industrielles. D'autres plateformes permettent de simuler des feux dans un environnement sous-oxygéné (Caducée) ou d'étudier la combustion en atmosphère libre de foyers (Saturne).

Pour en savoir plus

Laboratoire d'expérimentation
des feux (LEF)
Tel : +33 (0)4 42 1992 20
Contact : william.le-saux@irsn.fr

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire