

N°37
AVRIL 2018

Le magazine de l'IRSN

REPERES

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

EN PRATIQUE

Mieux connaître
l'exposition des égoutiers

DOSSIER

Génie civil Protéger les installations des agressions



FAITS ET PERSPECTIVES

Travailleurs du nucléaire :
des études pour quantifier
les risques

KIOSQUE



Le transfert du tritium au sommaire d'Aktis n° 27

À la une de ce numéro : modéliser le transfert du tritium dans l'environnement pour évaluer son impact. Cette publication consacrée à l'actualité de la recherche à l'Institut revient également sur le traitement des effets des radiothérapies par cellules souches mésenchymateuses (CSM) et sur les liens entre exposition chronique à l'uranium et fonctionnement du cerveau.
www.irsn.fr/aktis27

Comment vous procurer une infographie parue dans Repères ?

Vous êtes intéressé par l'infographie « Sur la piste d'une traînée d'iode radioactive », parue dans Repères n° 25 ? Vous souhaitez l'utiliser pour vos besoins de formation ou d'information ? Vous pouvez

l'obtenir gratuitement en adressant un e-mail à irsn.mediathèque@irsn.fr. Sur irsn.fr, vous retrouverez également le cahier spécial infographies de 8 pages sur le thème « Face aux risques, quelles précautions prendre ? » publié dans Repères n° 35.
www.irsn.fr/R35



Un guide en anglais sur les réacteurs à eau sous pression (REP)

Cet ouvrage est la version anglaise de la publication *État*

des recherches dans le domaine de la sûreté des REP. Jean Couturier et Michel Schwarz, experts à l'IRSN, exposent les recherches menées depuis une quarantaine d'années sur la sûreté des réacteurs à eau sous pression : accidents de fusion du cœur, incendie, séisme, facteurs humains, etc.

Current State of Research on Pressurized Water Reactor Safety, éditions EDP Sciences, collection « Sciences et techniques ».



Vidéo : les pompiers en exercice de crise

Pour tester leur dispositif d'urgence, les pompiers du centre de secours de Barneville-Carteret (Manche) ont participé à une simulation d'accident nucléaire à la centrale de Flamanville. Retrouvez, en vidéo, cet exercice : les moyens mobilisés, la spécificité de ce type d'intervention et la collaboration avec les experts.
www.irsn.fr/R34

Agenda

28 mai 2018

Montbéliard (Doubs)

Séminaire « Radon et territoires »

L'objectif est d'échanger sur les expériences visant à améliorer la gestion du risque lié au radon et la qualité de l'air intérieur. Après une présentation du contexte international et national, ce séminaire présentera les actions de sensibilisation, de formation et les campagnes de mesures de ce gaz menées sur le territoire français. Il est destiné aux collectivités territoriales, aux élus, aux professionnels de la construction...

Plus d'information : www.radon-qai-fcomte.fr/

17 juin 2018

Tournemire (Cantal)

Découvrez les mystères de l'eau dans l'argile

La visite de la station expérimentale de l'IRSN de Tournemire est une invitation à partir à la recherche de « l'eau invisible » cachée au cœur de la roche argileuse du site. À travers des films, des animations et des expériences pédagogiques, le visiteur s'interrogera sur les propriétés de cette roche et son utilité dans le cadre du stockage géologique des déchets radioactifs.

Plus d'information : www.irsn.fr/tournemire

Erratum

Une erreur s'est glissée dans le précédent numéro de Repères dans l'article et l'infographie portant sur le contrôle de la pollution des eaux de surface et de la pollution détectée au ru des Landes. Dans le témoignage d'André Guillemette (en page 18) et dans l'infographie (en page 19), contrairement à ce qui est mentionné, l'accès à l'abreuvoir des animaux est possible.

On line WEBMAG

www.irsn.fr/R37



Dossier Génie civil

Séisme : s'assurer de la résistance d'une installation



Reportage : des étudiants dans les entrailles d'une (fausse) centrale

L'équipement : une étape clé



Après l'exercice, le déshabillage

Abonnement

POUR VOUS ABONNER :

www.irsn.fr

Rubrique l'IRSN > Publications > Magazine Repères

Sommaire

En couverture : Jacques Jabbour, expert en génie civil, mesure, à l'aide d'une loupe monoculaire, l'ouverture des fissures dans un bloc de béton.

P.4 TEMPS FORTS

Modélisation

Les conséquences d'un tsunami sur les côtes françaises

Examens adaptés à l'enfant

Des « fantômes » bienvenus pour la thyroïde



P.6 FAITS ET PERSPECTIVES

Travailleurs du nucléaire

Des études pour quantifier les risques

P.9 ZOOM

Coup de foudre pour Irma

DOSSIER P.10

Dossier du prochain n° :
Séisme, un risque évalué et maîtrisé



Génie civil

Protéger les installations des agressions

P.17 EN PRATIQUE

Application Cidrrre

Mieux connaître l'exposition des égoutiers

P.20 INTÉRÊT PUBLIC

La société civile s'implique dans le dossier Cigéo



P.22 REPORTAGE

Formation

Dans les entrailles d'une (fausse) centrale

REPÈRES – Éditeur : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire – 31, avenue de la Division-Leclerc, 92260 Fontenay-aux-Roses – Tél. : 01 58 35 88 88 – Site Internet : www.irsn.fr – 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, Georges-Henri Mouton – Rédaction et réalisation : CITIZENPRESS – Maquette et direction artistique : Vincent Dulau – Iconographie : Sophie Léonard – Photos de couverture : © Noak/Le Bar Floréal/Médiathèque IRSN, La Hague/Éric Larrayadiou pour Orano – Impression : Galaxy (72) – Imprimé sur Cyclus Print – ISSN : 2103-3811 et 2491-8776 (Web) – Avril 2018.

L'importance du travail de terrain

Le génie civil constitue une part essentielle des installations nucléaires. Bâtiments, digues, ancrages des équipements et autres ouvrages fixes assument plusieurs fonctions, dont certaines concernent la sûreté. Les experts de l'IRSN, combinent analyse des dossiers, simulation numérique et expérimentation – parfois en grandeur réelle – pour garantir la conformité des installations et des modifications ou réparations, et le respect des exigences de comportement attribuées à ces installations. Le travail sur terrain est indispensable. Nous nous rendons sur les chantiers de construction des nouvelles installations pour veiller à la maîtrise des travaux et nous assurer de la qualité de réalisation des ouvrages. Nous retournons régulièrement sur les sites en fonctionnement afin de détecter tout signe de vieillissement compromettant pour la sûreté.

Marie-Hélène Bonhomme
Experte en génie civil

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Rejets radioactifs répétés

Iode stable : une dose optimale est identifiée

Comment prendre les comprimés d'iode de potassium (IK) en cas de rejets radioactifs accidentels répétés ou prolongés, comme ceux observés à Fukushima ? C'est le sujet de l'étude Priodac¹ menée chez le rat. « *Les premiers résultats ont montré qu'une dose d'iode stable de 1 mg/kg/24h peut être délivrée à un adulte pendant 8 jours d'affilée sans effets secondaires* », indique Maâmar Souidi, chercheur en radiotoxicologie à l'IRSN. « *La prophylaxie actuelle consiste en une prise unique pour saturer la thyroïde et éviter que l'iode radioactif ne se fixe sur cet organe et provoque des cancers* », précise-t-il. Conformément à la réglementation, des études ont été lancées par la Pharmacie centrale des armées pour demander une modification du dossier d'autorisation de mise sur le marché de l'iode stable. Les travaux se poursuivent en expérimentation animale pour évaluer les effets indésirables chez les femmes enceintes, les nourrissons et les personnes âgées après prophylaxie répétée à la même dose de 1 mg/kg/24h.

1. Prophylaxie répétée par l'iode stable en situation accidentelle (ANR-RSNR).

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

GÉNIE CIVIL

60 ans

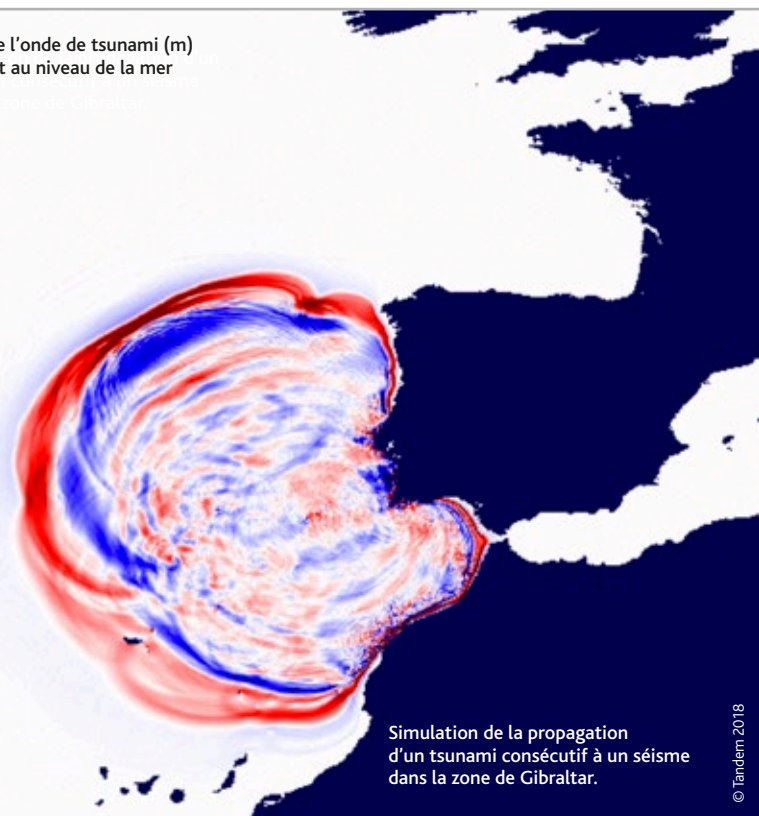
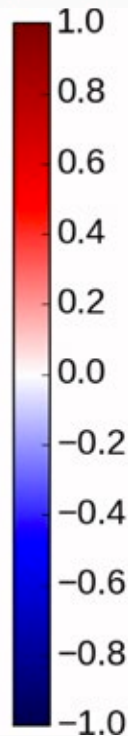
La prolongation de la durée d'exploitation des réacteurs, envisagée par EDF, de 40 à 60 ans implique de savoir comment va se comporter le génie civil.

10 ans

Les réacteurs d'EDF subissent une « épreuve de l'enceinte » tous les 10 ans. Voir notre dossier sur le génie civil, pages 10 à 16.

Recherche

Hauteur de l'onde de tsunami (m) par rapport au niveau de la mer



Simulation de la propagation d'un tsunami consécutif à un séisme dans la zone de Gibraltar.

© Tandem 2018

Modélisation

Les conséquences d'un tsunami sur les côtes françaises mieux connues

Si un tsunami frappait le littoral ouest français, des vagues d'une hauteur d'eau de quelques dizaines de centimètres à un mètre pourraient atteindre les côtes. Ce sont les conclusions du projet de recherche Tandem (Tsunamis en Atlantique et Manche : définition des effets par modélisation), auquel participe l'IRSN. L'intérêt, pour ce dernier, est d'évaluer le risque de tsunami pour les sites nucléaires côtiers et de poursuivre les développements de la caractérisation probabiliste de l'aléa inondation.

Calcul des incertitudes

En 2012, après Fukushima, l'Agence nationale de la recherche (ANR) avait invité – par appel d'offres – des équipes françaises de recherche à se saisir du sujet. Cartographie du relief sous-marin et du littoral, connaissance du risque sismique, bibliographie des événements historiques, modélisation numérique, évaluation des incertitudes... pour répondre à cette problématique complexe, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) a

réuni des partenaires multiples – instituts de recherche, universités, industries, etc. L'IRSN a travaillé sur le calcul des incertitudes au niveau de la source, de la propagation du train d'ondes, de l'impact côtier... Principia, PME d'ingénierie scientifique, a réalisé des modélisations 3D. « *Nous avons adapté nos outils numériques pour la simulation de vagues de tsunami, caractérisées par de très grandes longueurs d'onde* », explique Richard Marcer spécialiste en mécanique des fluides.

Le Centre français d'alerte aux tsunamis s'est intéressé au projet pour sa finalité opérationnelle indirecte. François Schindelé, son responsable, indique : « *Nous affinerons notre évaluation en temps réel du risque tsunami en cas de détection d'un séisme ou de glissement de terrain sous-marin.* »

Les outils développés dans le cadre de Tandem serviront à la communauté scientifique internationale pour des applications à d'autres régions du monde.

WWW Pour en savoir plus : www-tandem.cea.fr

Santé



Tiffany Beaumont, doctorante, visse le fantôme thyroïdien avec son couvercle.

© Noak/Le Bar Floreal/Médiathèque IRSN

“ Avec ces fantômes, les médecins pourront adapter les doses de traitement.

Examens adaptés à l'enfant Des « fantômes » bienvenus pour la thyroïde

Les mesures de la radioactivité dans la thyroïde des enfants peuvent comporter jusqu'à 40 % d'erreurs. En cause, l'absence de modèle de cet organe adapté à leur taille pour étalonner correctement les appareils anthroporadiométriques.

Tiffany Beaumont, doctorante à l'IRSN, a conçu un jeu de « fantômes » – nom donné à ces copies en plastique de pièces anatomiques – de thyroïde pour les 5, 10 et 15 ans et pour les adultes. « Ils seront utiles en cas d'accident nucléaire et, en médecine, ils serviront à adapter les doses administrées pour certaines pathologies bénignes de la thyroïde », explique-t-elle.

Grâce à l'imprimante 3D acquise par l'Institut, et avec l'aide d'ingénieurs, elle a fabriqué des copies réalistes de cet organe

de forme et de volume différents. « Il a fallu trouver des matériaux qui miment l'atténuation des rayons provoquée par les tissus humains et créer des assemblages robustes, étanches et ne diffusant pas la radioactivité », précise la chercheuse.

Ces fantômes ont été brevetés. L'Institut universitaire du cancer de Toulouse (Haute-Garonne) et l'hôpital du Kremlin-Bicêtre (Val-de-Marne) les utilisent. Ils ont aussi été commercialisés au Japon.

www Pour en savoir plus : www.irsn.fr/these-beaumont
<https://doi.org/10.1088/1361-6560/aa6514>

Crise



Une centaine de touristes et d'habitants et 3000 fonctionnaires ont participé à cette simulation d'accident nucléaire.

© Marie-Pierre Bigot/Médiathèque IRSN

Hong Kong Les experts s'exercent à la crise

Pourquoi les experts de l'Institut ont-ils participé à un exercice de simulation d'un accident nucléaire à Hong Kong ? « Nous avons élaboré le scénario technique, et cela nous a obligés à adapter nos pratiques. Sur place, nous avons animé l'opération, explique Olivier Isnard, spécialiste des situations d'urgence. Pour nous, l'intérêt est de comparer nos façons de travailler, d'observer la stratégie de protection des populations et la coordination des services du gouvernement. S'exercer dans une autre langue et avec d'autres cultures est formateur. »

Certains outils de l'IRSN ont été améliorés en amont. C'est le cas d'une plateforme de calcul destinée, pour les exercices, à fournir des simulations des mesures prises dans l'environnement par des véhicules en mouvement.

L'exercice s'est déroulé en décembre 2017 sur l'ensemble du territoire de Hong Kong. Les 6200 habitants de l'île de Ping Chau, à 20 kilomètres de la centrale chinoise de Daya Bay, ont été évacués pour l'occasion. L'Institut réalisera, pour le gouvernement de Hong Kong, une analyse de son plan de secours afin de l'améliorer.

Combustible Des essais pour mieux comprendre les risques

Pour appréhender le comportement des crayons de combustible lors d'un accident d'injection de réactivité¹ (RIA) dans les réacteurs à eau sous pression (REP), l'IRSN va réaliser des essais. Ils se dérouleront dès avril 2018 dans le réacteur d'expérimentation Cabri, exploité par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). Dix crayons de combustible seront testés jusqu'en 2024. « Avec les résultats, nous caractériserons le comportement du crayon lors d'un RIA, évaluerons les conséquences de sa rupture éventuelle et ajusterons les règles de sûreté », résume Christelle Manenc, ingénieure chercheuse à l'IRSN. Cabri comportait initialement une boucle de refroidissement au sodium dédiée aux études des accidents de réactivité des réacteurs à neutrons rapides, comme Phénix. « Entre 2003 et 2015, il a été rénové et doté d'une boucle à eau sous pression pour étudier les conditions représentatives d'un tel accident dans un REP », précise-t-elle.

1. Augmentation rapide et locale du flux de neutrons, induisant une augmentation de la puissance nucléaire due à la fission.

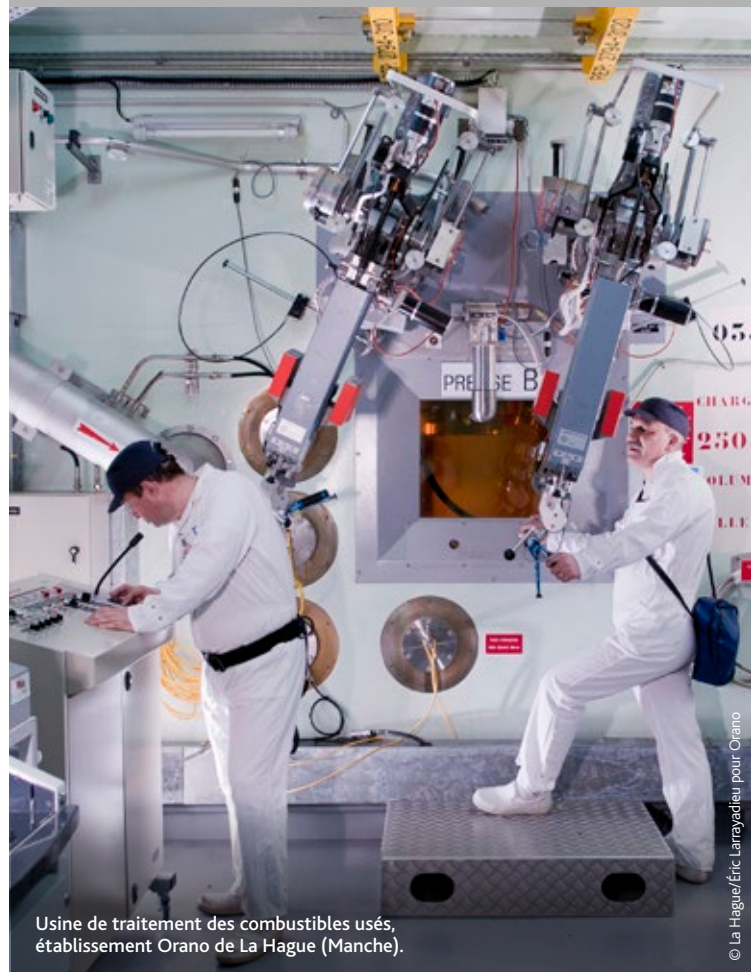
www Pour en savoir plus : www.irsn.fr/cabri

FAITS ET PERSPECTIVES



Mine d'uranium souterraine de Jouac (Haute-Vienne).

© Orano/Lesage Philippe



Usine de traitement des combustibles usés, établissement Orano de La Hague (Manche).

© La Hague/Éric Larayadieu pour Orano

Travailleurs du nucléaire

Des études épidémiologiques pour quantifier les risques

Quels sont les risques d'une exposition chronique aux rayonnements pour la santé des travailleurs du cycle du combustible ? L'Institut vient de publier un bilan des études épidémiologiques portant sur quelque 80 000 employés de l'industrie nucléaire française des années 1950 à nos jours. L'objectif est de quantifier les risques encourus et, à moyen terme, de faire évoluer les normes de radioprotection.

« Nous avons ressorti des dossiers médicaux de mineurs stockés depuis cinquante ans dans des hangars », raconte Éric Samson. Cet épidémiologiste à l'IRSN a participé à une étude sur les risques liés aux rayonnements ionisants des travailleurs du cycle électronucléaire français. L'Institut a publié, en décembre 2017, un premier bilan de ce travail. Objectif : réunir les données relatives à leur exposition professionnelle – exposition externe et contamination interne – et les croiser avec les décès pour en déduire, par corrélation, les risques radio-induits de pathologies cancéreuses ou non. Plusieurs cohortes ont été mises en place, représentant au total près de 80 000 travailleurs – plus de 90 000 en comptant ceux en cours d'inclusion.

« La France est l'un des rares pays à avoir un cycle complet du combustible nucléaire sur son territoire, souligne Klervi Leuraud, chercheuse en épidémiologie des rayonnements à l'IRSN. Les cohortes couvrent l'ensemble des étapes, de l'extraction du minerai jusqu'à la production d'énergie et aux activités de recherche. »

Plus d'un million de lignes

Les travailleurs bénéficient d'un suivi médical régulier. Leurs expositions individuelles sont mesurées et enregistrées depuis les années 1950. Pour reconstituer les données de chaque salarié, les experts mènent une enquête de terrain. Ils retracent l'identité, l'historique de carrière. Ils s'intéressent aux autres expositions

professionnelles, comme celle à la chaleur et au bruit – favorisant les maladies cardio-vasculaires –, celle aux produits chimiques classés CMR¹, ou encore le travail en horaires décalés – provoquant des dérèglements hormonaux. Une grande partie de ces informations sont détenues par les entreprises partenaires – médecine du travail, service des ressources humaines, service de sécurité au travail... « Nous ne créons pas d'informations, nous récupérons des données existantes, souligne Éric Samson. Mais elles sont parfois difficiles à obtenir ou à déchiffrer ! Je pense à des fichiers du personnel archivés au format papier dans des sous-sols humides, ou à des données informatiques dont la lecture nécessite un logiciel qui n'est plus édité... Derrière les vieilles



Atelier de conversion du nitrate d'uranyle en oxyde d'uranium, au Tricastin (Drôme).

photos et les chiffres, c'est la vie d'individus qui se dessine, cela a un côté émouvant. » Une fois les données réunies et anonymisées, elles sont intégrées dans une base de données. « Il y a plus d'un million de lignes pour décrire la dosimétrie des 60000 travailleurs suivis dans la cohorte CEA-Areva-EDF² », illustre Klervi Leuraud.

Des résultats à affiner

Avec un demi-siècle de recul, plusieurs observations émergent. Chez les mineurs d'uranium, le risque de décès par cancer du poumon augmente avec l'exposition au radon. Chez les travailleurs du traitement du minerai, aucune surmortalité n'est mise en évidence. La mortalité est plus faible pour les travailleurs du cycle du combustible, du CEA et d'EDF, probablement en raison de la sélectivité à l'embauche et d'un bon suivi médical. Une faible augmentation du risque de cancer, notamment de leucémie, associée à l'exposition externe aux rayonnements est toutefois observée chez ces travailleurs. Les résultats seront affinés dans les décennies à venir : le nombre de décès sera étudié pour mieux établir le lien avec l'exposition professionnelle.

Ces études font évoluer les réglementations vers une meilleure radioprotection. « En 1987, le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) a classé le radon comme cancérigène pulmonaire pour l'homme, notamment sur la base d'études épidémiologiques en milieu professionnel, souligne Klervi Leuraud. Plus récemment, les enseignements tirés des cohortes que nous suivons ont, parmi d'autres éléments, conduit la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) à réviser l'évaluation des risques sanitaires liés à l'exposition au radon³. » Le dispositif de protection est renforcé dans la nouvelle réglementation française en 2018. Un niveau de référence de 300 Bq/m³ est désormais applicable à l'ensemble des bâtiments – lieux de travail, établissements recevant du public, habitat. Il s'agit du niveau de

PROCESS

Des professionnels suivis tout au long de leur carrière

Aujourd'hui retraité, Martin a passé toute sa vie professionnelle dans l'industrie nucléaire française. Il est suivi par la médecine du travail de son employeur. Sa carrière, son mode de vie et les risques associés ont été analysés par l'Institut.

1 De 1980 à 1993

Martin a 25 ans quand il intègre le secteur nucléaire en tant qu'**ouvrier de fabrication** dans une usine de traitement. Son travail : concassage du minerai et concentration de l'uranium. Cela l'expose à un risque radiologique interne et externe. Il utilise des produits chimiques classés CMR* et travaille en horaires décalés, ce qui peut constituer un risque de dérèglement hormonal.

* Cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction.

Travail en horaires décalés
Exposition à des radiations internes et externes
Exposition à des produits chimiques



2 1993 à 2001

Il change de site et devient **opérateur de fabrication** dans une usine de transformation. Il assure la fluoration de l'uranium lors de l'étape de conversion chimique. Il est exposé à un risque chimique et radiologique (principalement contamination interne). En 2000, un accident de contamination à l'UF₆* entraîne une mesure positive d'uranium dans ses urines.

* Hexafluorure d'uranium.

Exposition à des radiations internes et externes
Exposition à des produits chimiques



3 De 2001 à 2013

Il est **agent de maintenance** sur le même site. Son niveau d'exposition est alors très faible. Depuis son embauche, son poids a augmenté fortement du fait de ses habitudes alimentaires. Son taux de cholestérol est élevé et des signes d'hypertension ont été relevés. Fumeur au début de sa carrière, il a arrêté le tabac en 2002.

Cholestérol Hypertension Surpoids



4 Depuis 2013

Martin est à la **retraite**. Il est suivi par son médecin traitant, les données ne sont plus collectées par l'IRSN. Au total, l'exposition sur l'ensemble de sa carrière s'élève à 25 mSv. C'est un peu au-dessus de la moyenne, mais reste représentatif des travailleurs de cette époque.

Total d'exposition sur l'ensemble de la carrière :



5 Les risques sur la santé mieux connus

L'IRSN a analysé le parcours professionnel et les données de 80 000 personnes, dont Martin. Cela alimente une étude épidémiologique dont l'objectif est de mieux comprendre les effets des rayonnements et de faire évoluer la réglementation vers une meilleure radioprotection.





Expérience de dissolution de pastilles de combustible en boîte à gants.

© S. Le Cousteur/CEA

concentration moyenne de radon sur l'année, au-delà duquel il est recommandé d'entreprendre des actions appropriées pour réduire l'exposition.

Élargir les perspectives

Ces études rencontrent des limites. « *Nous travaillons sur des doses faibles. Le lien avec le décès est donc plus difficile à établir*, note Éric Samson. *Les effets observés se précisent proportionnellement à la taille des échantillons et au vieillissement de la population. Nous devons mettre régulièrement à jour les cohortes en prolongeant le suivi des travailleurs et en élargissant les critères d'inclusion à de nouveaux individus.* » Grâce au système Siseri⁴, qui centralise depuis quelques années les données dosimétriques des travailleurs, des informations sur les expositions radiologiques des salariés des entreprises prestataires sont disponibles. Jusque-là, seuls les statutaires étaient suivis, car il existait un historique exhaustif. Cela représente plusieurs dizaines de milliers d'individus supplémentaires qui pourront être inclus dans les cohortes.

L'IRSN développe des collaborations internationales pour renforcer la puissance statistique de ses études et comparer ses résultats avec ceux d'autres pays. C'est le cas avec le Royaume-Uni, l'Allemagne, la République tchèque, les États-Unis et le Canada. Si les études se limitent actuellement au risque de mortalité, elles devraient s'étendre à terme à l'incidence des maladies.

1. Cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction.

2. Cohorte regroupant les travailleurs de la fabrication du combustible, de l'exploitation des centrales nucléaires, du retraitement des combustibles usés et de la recherche.

3. ICRP, 2017. Occupational intakes of radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4)

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

Quel est l'intérêt de l'étude épidémiologique réalisée par l'IRSN ?

Elle souligne ce qui est accompli dans le suivi médical des salariés de notre entreprise et, plus largement, dans le secteur du nucléaire. De nouvelles actions de prévention seront mises en place si l'occurrence d'une maladie liée aux rayonnements ou aux émissions de particules est mise en évidence. Il faut avoir le recul suffisant, entre vingt et trente ans, pour voir apparaître les éventuelles maladies professionnelles.

Comment y participez-vous ?

Je mets les dossiers des salariés à la disposition de mes interlocuteurs de l'IRSN, qui saisissent les informations dans une base de données. Nous avons commencé par traiter les quelque 24 000 dossiers de travailleurs aujourd'hui retraités, cela représente un véritable travail de fourmi ! J'actualise les données lorsque je suis informé par les caisses d'assurance maladie d'une déclaration de maladie professionnelle.

Que reprenez-vous des premiers résultats ?

Il est un peu tôt pour en tirer des enseignements. Il faut être prudent, car l'échantillon de population étudié est limité. L'occurrence d'une maladie doit toujours être croisée avec d'autres facteurs d'exposition professionnelle, comme l'exposition à l'amiante ou à des produits chimiques, sans oublier le tabac. Les résultats d'analyses quantitatives ne sont pas toujours disponibles en interne, mais elles sont pourtant indispensables pour exploiter les cohortes de façon pertinente.

3 questions à...

Jean-Marc Cuvillier

Médecin coordinateur d'Orano pour les sites du Tricastin, Bagnols (Gard) et Malvési (Aude)



© Jean-Marc Cuvillier



Centrale nucléaire d'Hinkley Point B, Bridgwater, Royaume-Uni.

© EDF/Julien Goldstein

AILLEURS

Royaume-Uni : les risques de 200 000 travailleurs sont étudiés

Le National Registry for Radiation Workers (NRRW) a lancé des recherches sur les risques de décès et de maladies de près de 200 000 travailleurs. Outre l'industrie et la recherche, la cohorte suivie inclut le secteur médical et la défense. L'étude la plus récente, publiée en 2009, confirme les résultats obtenus par l'IRSN sur la cohorte CEA-Areva-EDF pour le risque de cancer associé à l'exposition aux rayonnements. Les deux cohortes font partie de l'étude internationale INWORKS¹ lancée en 2011. Le NRRW

a été créé en 1976 pour étudier les effets d'une exposition chronique aux rayonnements ionisants sur la santé des travailleurs anglais et vérifier si les normes de radioprotection étaient suffisantes. Il est placé sous la responsabilité du Public Health England, l'agence nationale de santé publique du Royaume-Uni.

1. Coordonnée par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ). Elle inclut aussi une cohorte américaine. Référence de l'étude : Muirhead, C.R., O'Hagan, J.A., Haylock, R.G.E., Phillipson, M.A., Willcock, T., Berridge, G.L.C., Zhang, W. Mortality and cancer incidence following occupational radiation exposure: Third analysis of the National Registry for Radiation Workers. *British Journal of Cancer* 2009; 100(1):206-212



© Mélanie Osmond/Médiathèque IRSN

Coup de foudre pour Irma

Ces traces énigmatiques ressemblant à des algues géantes sont des « figures de Lichtenberg ». Il s'agit de fissures survenues dans le hublot de la cellule d'irradiation Irma de l'IRSN à la suite d'une décharge électrique spontanée. En service sur le site du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies renouvelables (CEA) de Saclay (Essonne) depuis 1969, cette cellule est destinée à étudier les effets des rayonnements ionisants sur des équipements et des matériaux. Elle utilise des sources radioactives scellées de cobalt 60. D'épais murs en béton assurent la protection des opérateurs

travaillant à proximité, tandis qu'un hublot composé de quatre dalles de verre au plomb permet la télémanipulation des sources et l'observation des essais depuis l'extérieur. Le jour de l'incident, le 15 février 2017, un matériau poreux étudié pour ses capacités à adsorber¹ les gaz radioactifs était en cours de test. Intrigué par un brusque éclair bleu et un bruit inhabituel, un opérateur a donné l'alerte. Après enquête, l'origine de ce phénomène a été déterminée : tout au long de l'exploitation de la cellule – soit pendant près de quarante-huit ans ! –, des électrons se sont accumulés dans la masse du verre,

Hortense Desjonquères

Ingénieure matériaux et procédés

Céline Monsanglant-Louvet

Chercheuse sur l'épuration des gaz radioactifs

Lorsque le champ électrique ainsi créé a dépassé la limite supportée par le hublot, un arc électrique de plus de 30 000 volts s'est produit dans celui-ci. La fissuration n'ayant concerné que la première dalle interne, le hublot a continué à assurer sa fonction de protection radiologique. Aujourd'hui remise à neuf, la cellule Irma a repris du service. Par mesure de précaution, un temps de relaxation du hublot entre les irradiations est désormais mis en œuvre pour éviter qu'un tel événement ne se reproduise. ■

¹. Fixer à la surface.



Jacques Jabbour, expert en génie civil, mesure, à l'aide d'une loupe monoculaire, l'ouverture des fissures dans un bloc de béton.

20 fois

Un béton « malade » est 20 fois plus perméable aux gaz que le béton sain.

Génie civil

Protéger les installations des agressions

Bâtiments, digues, ancrages... ces ouvrages sont importants pour la sûreté des installations nucléaires. Ils sont soumis à diverses menaces naturelles ou liées au fonctionnement normal ou accidentel des centrales. En combinant expertise, recherche et simulation, les spécialistes évaluent les aléas et les parades retenues par l'exploitant.



Évaluation visuelle et tactile du gonflement des fissures.

© Noak/Le Bar, Floreal/Médiathèque IRSN

Les bâtiments des installations nucléaires doivent assurer la protection des équipements et le confinement de la radioactivité. Cela relève du génie civil. Un domaine divers, tant du point de vue des matériaux utilisés – béton, acier, résines... – que des structures – voiles, membranes, piliers, ancrages... L'IRSN s'appuie sur la recherche et la simulation pour s'assurer que les installations résistent à des menaces variées : aléas climatiques, séismes, chutes d'avion ou fusion accidentelle d'un cœur de réacteur. Sans oublier le vieillissement, avec son cortège de fissures et de corrosion. Les spécialistes en génie civil expertisent la validité de mesures réparatrices et mènent des études pour prédire le comportement des structures en cas d'agression.

Le béton de Civaux est-il malade ?

En 2009, l'IRSN met en évidence un risque de pathologie du béton de l'enceinte de confinement du réacteur Civaux 1 (Vienne). Ces maladies entraînent des fissurations et pourraient provoquer une perte d'étanchéité de l'enceinte (voir le reportage page 16). « *Les recherches sur le sujet commençaient à émerger. Nous avons reconstitué en laboratoire des éprouvettes¹ du même matériau que celui de Civaux 1. Nous les avons soumises à des conditions thermiques similaires au jeune âge et à des cycles de vieillissement accéléré. Nous avons vu qu'elles risquaient de développer des pathologies* », raconte Georges Nahas, ingénieur-chercheur.

À la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), EDF analyse les conditions initiales de coulage puis prélève des carottes dans le radier². Conclusion de ces travaux : ni gonflement du béton ni trace de maladie.

Pourtant, dans son avis de septembre 2017, l'Institut considère qu'un risque subsiste pour le radier. « *Nous nous sommes appuyés sur des travaux de thèse pour*



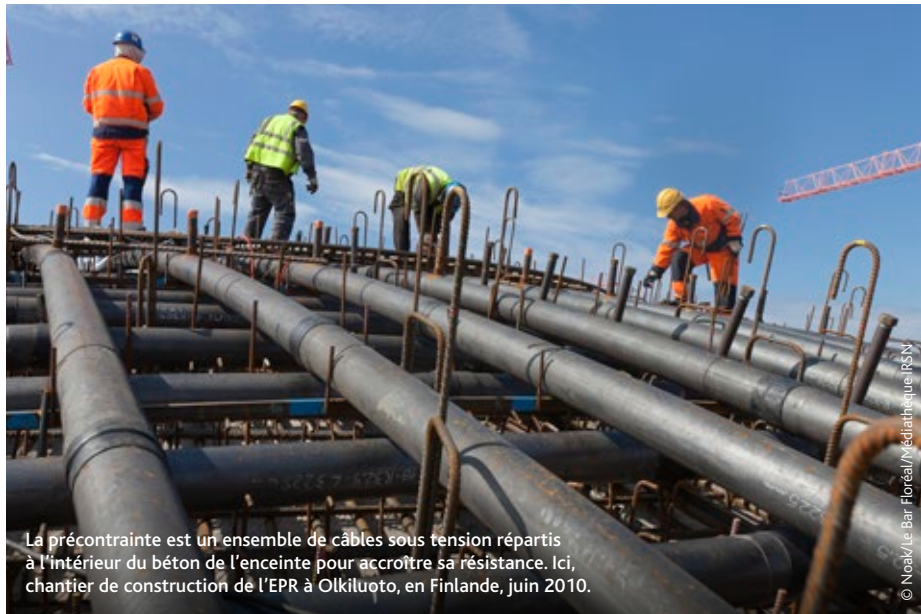
Réacteur Jules-Horowitz (RJH), à Cadarache (Bouches-du-Rhône). L'enceinte du bâtiment réacteur est en béton précontraint.

© Michel Laballe/Signatures/Médiathèque IRSN



Rupture d'armatures entre chape et radier (événement significatif de sûreté, Nogent, 2006).

© Céline Pico/Médiathèque IRSN



La précontrainte est un ensemble de câbles sous tension répartis à l'intérieur du béton de l'enceinte pour accroître sa résistance. Ici, chantier de construction de l'EPR à Olkiluoto, en Finlande, juin 2010.

© Noak/Le Bar, Foréal/Médiathèque IRSN

“ Nous avons des doutes sur le serrage des tirants.

montrer la possibilité d'une évolution pathologique et interpréter différemment les mesures réalisées par l'exploitant », explique le chercheur. EDF doit préventivement renforcer ses procédures de maintenance et limiter les apports d'eau – accélérant la maladie – sur le radier de Civaux 1. L'industriel détermine les sources possibles – eau de pluie, remontées de la nappe phréatique – et protège l'enceinte, notamment par un renforcement de la membrane d'étanchéité. D'autres études sont menées sur ce sujet, comme le programme Odoba³, lancé en 2014. À Cadarache, des chercheurs étudient des blocs de béton représentatifs des installations nucléaires, subissant un vieillissement accéléré ou non. Le programme prévoit des échanges avec des autorités de sûreté étrangères – américaine, canadienne, chinoise...

56 495

C'est le nombre de tirants précontraints présents sur le parc de réacteurs français, soit de l'ordre d'un millier de tirants par réacteur.

Des doutes sur les réservoirs d'eau borée

Chaque réacteur est muni d'un réservoir d'eau borée⁴, prête à être injectée dans le cœur pour stopper la réaction en chaîne en cas de nécessité. Il est ancré à la structure par huit tirants précontraints⁵ en acier. En 2013, lors de contrôles de maintenance préventive, EDF signale des problèmes de conformité sur ses sites de Gravelines (Nord), Dampierre (Loiret), Blayais (Gironde), Saint-Laurent-des-Eaux (Loir-et-Cher) et du Tricastin (Drôme). « Les écarts relevés concernent le diamètre des tiges, inférieur à celui attendu, la non-verticalité de certaines tiges ou les caractéristiques de l'acier des tirants », rapporte Marie-Hélène Bonhomme, experte en génie civil. Dans ces conditions, la stabilité

est-elle toujours maintenue en cas de séisme? EDF réalise des calculs à partir d'un modèle numérique de réservoir et assure que oui. En 2014, l'Institut demande à l'exploitant de compléter son dossier et de prendre en compte les efforts d'arrachement sous l'effet d'un séisme horizontal. L'industriel doit également vérifier la résistance des colonnettes d'acier participant à l'ancrage et la tenue de leur soudure sur le support. Les tirants doivent être resserrés pour maintenir une précontrainte minimale, facteur important pour garantir la fonctionnalité du système d'ancrage. « Nous avons des doutes sur la maîtrise de ce serrage », se souvient Marie-Hélène Bonhomme. L'Institut demande de renforcer les tirants de Dampierre 2 et Tricastin 3 et recommande à l'exploitant de les munir de capteurs d'effort pour suivre la précontrainte résiduelle. « Certains points sont soldés, mais le programme de contrôle et de resserrage des tirants se poursuit, car le parc comprend plusieurs dizaines de milliers de tirants précontraints. L'exploitant continue d'étudier la périodicité des resserrages. Tous les ans, il nous présente une synthèse des contrôles, des écarts et des études en cours. Et nous analysons certaines des solutions qu'il a apportées », souligne la spécialiste.

À LIRE



Séisme : s'assurer de la résistance d'une installation
www.irsn.fr/R37

Des vérifications pour les « planchers préfabriqués »

De nombreuses installations nucléaires construites avant 1990 ont des planchers constitués de prédalles préfabriquées en béton armé ou précontraint et d'un hourdis⁶ en béton coulé en place. « Lors du réexamen de plusieurs installations à Marcoule (Gard) et à Cadarache (Atalante⁷, Lefca⁸...), la question de la résistance de ces planchers au séisme s'est posée », indique Corine Piedagnel, experte en génie civil. Pour justifier la tenue de ses installations, Areva s'est appuyé sur la réglementation.

EN CLAIR

Simulation : les boulons des tampons d'accès matériel remplacés

L'enceinte de confinement d'un réacteur doit résister à la pression et à la température induites par un accident de fusion du cœur. Grâce à des simulations et à des calculs, les experts identifient une faiblesse au niveau du tampon d'accès matériel. L'exploitant remplacera les boulons de tous les réacteurs de 900 MWe.

1

Un accident est simulé

Une modélisation de l'enceinte et de ses éléments – béton, ferrailage, câbles de précontrainte, viroles d'accès... – est réalisée à différentes échelles. Les experts introduisent les paramètres nécessaires pour simuler le comportement du béton.

2

Un risque est identifié sur le tampon d'accès matériel

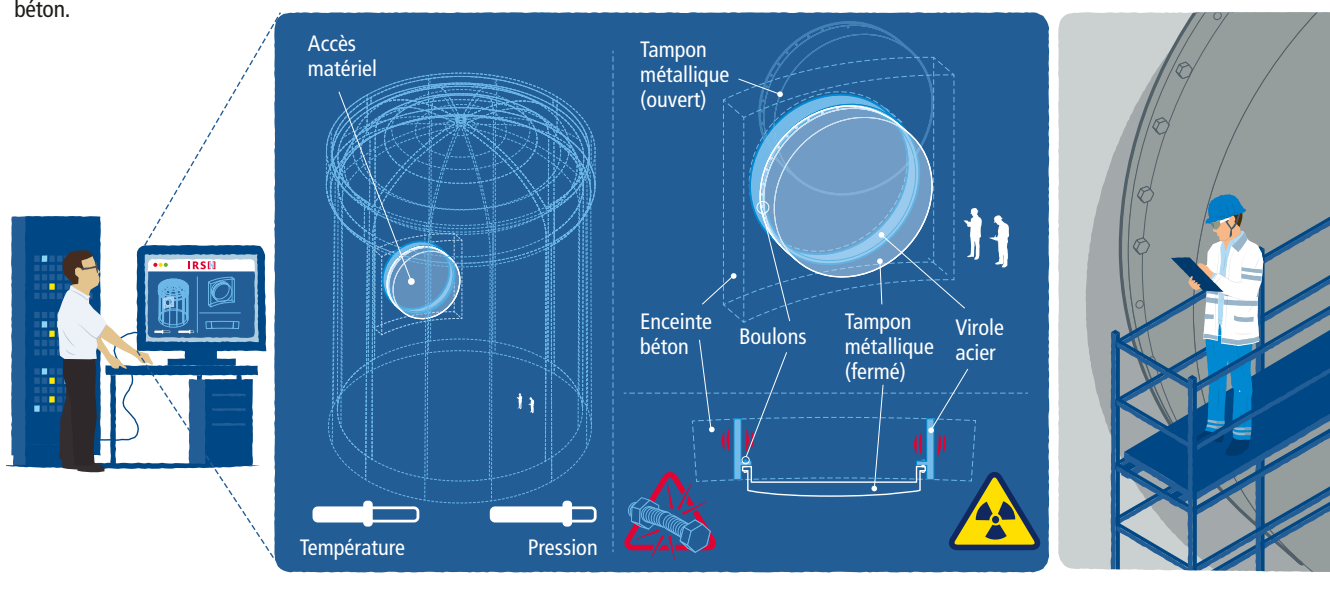
De quoi s'agit-il ?

C'est une porte métallique de l'enceinte qui ferme un accès où passent de très gros éléments – générateur de vapeur, pompe primaire... Elle est composée d'une partie cylindrique scellée dans le béton de l'enceinte et d'un tampon de fermeture boulonné sur une virole en acier.

3

Les boulons sont remplacés

L'IRSN recommande en mars 2005 de remplacer les boulons en utilisant un acier plus résistant. Cela concerne l'ensemble des réacteurs de 900 MWe. Le remplacement est effectué à l'occasion des troisièmes visites décennales, qui ont commencé en 2009 et se termineront en 2020.



© Antoine Dagan/Citizen Press/Médiathèque IRSN/Magazine Repères

L'IRSN a évalué les marges offertes par cette démarche et a lancé, en collaboration avec le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), deux expérimentations, réalisées en 2011 et en 2012 sur deux maquettes de plancher géométriquement identiques. La première est soumise à des efforts horizontaux croissants alternés, générés par des vérins. La seconde, ancrée sur la table vibrante Azalée, subit des accélérations croissantes. Aucune rupture des maquettes n'est constatée.

Parallèlement, le CEA développe un modèle numérique qui reproduirait les résultats. Objectif : mieux comprendre les phénomènes observés lors des essais et évaluer le comportement d'un plancher pour des niveaux d'excitation plus élevés que ceux atteints avec la table vibrante. « Ces études complexes ne sont pas achevées, précise Corine Piedagnel. Les résultats tendent à montrer que l'endommagement généralisé du plancher ne se produirait qu'en cas d'excitation bien supérieure à celle atteinte lors des essais. » ■

1. Des cylindres de 22 cm de long et 11 cm de diamètre.
2. Semelle en béton sur laquelle est posée le bâtiment du réacteur
3. Observatoire de durabilité des ouvrages en béton armé (Odobas).
4. Liquide de refroidissement à base de bore.
5. Un tirant est une barre en acier, filetée aux extrémités, soumise à des efforts d'étirement.
6. Éléments permettant la liaison entre les prédalles, et entre le plancher et les murs.
7. Atelier alpha et laboratoires pour analyses, transuraniens et études de retraitement (Atalante).
8. Laboratoire d'études et de fabrications expérimentales de combustibles nucléaires (Lefca).



© EDF/Cédric Heusy

Au Bugey, la réparation d'une fuite de l'enceinte

L'enceinte de confinement du réacteur Bugey 5 (Ain) présentait une évolution anormale de son taux de fuite. EDF a proposé une solution pour arrêter le phénomène de corrosion à l'origine de cette anomalie et garantir le respect des critères d'étanchéité. Un long travail d'expérimentation suivi par l'Institut.

« Lors d'une épreuve de surpression, nous avons détecté un comportement atypique de la paroi de l'enceinte de Bugey 5, raconte Bertrand Perracino, chef de projet enceinte à EDF. Le taux de fuite était dans les normes, mais il avait évolué de façon significative depuis 2001. Cela nous empêchait de garantir les exigences réglementaires de sûreté, même si aucun risque n'était avéré. » Nous sommes en septembre 2011. Depuis, après plusieurs expérimentations, l'exploitant a proposé une solution pour traiter l'anomalie rencontrée. L'Institut l'a validée... en demandant des critères plus stricts de mise en œuvre et l'application d'un programme de surveillance renforcé.

Une résine époxyde pour assurer l'étanchéité

L'enceinte de chaque réacteur de 900 MWe comprend une paroi épaisse en béton précontraint assurant la résistance mécanique. Elle est recouverte, côté intérieur, d'une peau métallique, le *liner*, assurant l'étanchéité. À Bugey 5, le défaut résultait d'une corrosion au niveau du joint de dilatation séparant le radier interne de la paroi métallique. La solution proposée combine un revêtement composite d'étanchéité, appelé Maeva 2, sur la partie supérieure du joint, et du lait de chaux remplissant le reste de l'espace pour arrê-

ter la corrosion (voir infographie). À base de résine époxyde, le revêtement Maeva 2 a été développé pour EDF. Le lait de chaux est un liquide basique bloquant la corrosion de l'acier. Il a déjà été mis en œuvre à la centrale nucléaire de Ringhals, en Suède.

Cinq experts mobilisés

L'IRSN est saisi en juillet 2016. Il s'agit d'analyser le dossier de 2000 pages réparties sur une centaine de documents remis par l'exploitant. Cinq experts sont mobilisés : deux en génie civil, aidés par un spécialiste en confinement, un en corrosion, et par la chargée de site qui suit et connaît cette installation. Ils réalisent une analyse technique et critique du dossier, évaluent

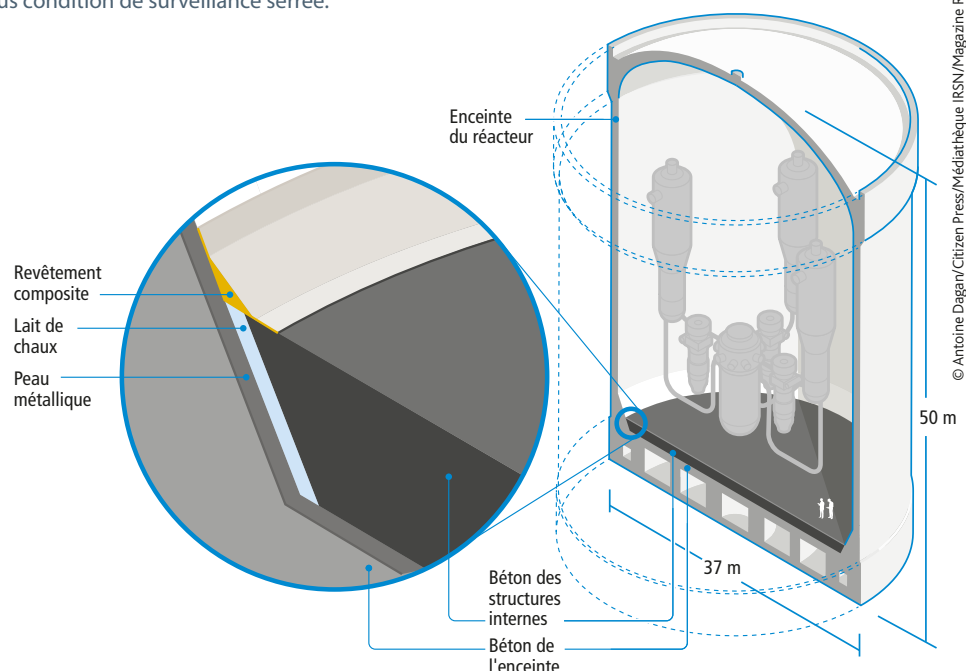
la pertinence des solutions envisagées... et interrogent les hypothèses et les conclusions d'EDF. Des points réguliers sont organisés entre eux.

Dès le mois d'octobre, ils adressent une série de questions à l'exploitant et lui demandent plans et croquis pour s'assurer que la solution proposée peut être déployée sur tout le pourtour de l'enceinte. « J'ai visité une première fois le chantier, avant la mise en place de la solution, pour juger de sa faisabilité et constater les contraintes de l'environnement », se souvient Nicolas Pfeiffer, spécialiste en génie civil.

Les experts se rendent dans un centre d'étude et de recherche d'EDF¹, à Aix-en-Provence, pour examiner les essais réalisés sur maquettes : mise en pression, vieillisse-

La solution proposée par l'exploitant

Pour corriger le défaut d'étanchéité de l'enceinte du réacteur Bugey 5, EDF a proposé une solution à base de lait de chaux. L'IRSN l'a acceptée sous condition de surveillance serrée.



ment accéléré, irradiation... L'objectif est de s'assurer de la pertinence de la solution, de sa facilité de mise en place et de son maintien dans le temps. Une fois l'expertise terminée, l'avis est adressé à l'ASN et publié au mois de février 2017 (voir p. 16). L'IRSN n'émet pas d'objection, mais fait plusieurs recommandations. La valeur du pH du lait de chaux doit être plus élevée, celle proposée initialement est jugée trop proche de la limite de passivation² de l'acier. L'Institut préconise que la baisse acceptable du niveau de ce liquide soit ramenée à 5 cm (et non à 15, comme le préconisait EDF). L'exploitant devra profiter des relevés de niveau pour prélever du lait de chaux afin de mesurer son pH et de détecter une éventuelle contamination bactérienne.

Des rondes à l'extérieur de l'enceinte

Un programme de suivi est mis en place. Très rapprochés durant les premiers mois, les contrôles seront par la suite effectués lors des arrêts de tranche, soit tous les seize mois. Le niveau du lait de chaux sera vérifié tous les quatre mois. Aux mesures de niveau et prélèvements s'ajoutent des rondes à l'extérieur de l'enceinte – et même en dessous, via des galeries souterraines – pour repérer d'éventuelles traces de calcite signalant une fuite. « Pour le contrôle du niveau, EDF a proposé un système de mesure à distance évitant l'entrée d'un opérateur dans l'enceinte. C'est une bonne idée, qui évite d'exposer le personnel à des rayonnements. Il faut la valider par comparaison avec les mesures manuelles durant le premier cycle de fonctionnement », estime Nicolas Pfeiffer. Le capteur, déjà installé, est aujourd'hui en cours de test.

Le cas Bugey 5 est discuté au cours des « Rendez-vous des experts de la sûreté (Reves) », institués début 2017 par l'IRSN. Manon Besnard, de Wise-Paris, un cabinet indépendant d'expertise nucléaire, y participe : « Si nous gardons des doutes sur le plan technique, nous avons mieux compris les principes et les objectifs de la réparation. » En mai 2017, EDF réalise une épreuve de l'enceinte, réussie. Le réacteur redémarre début août 2017. ■

1. Le Centre d'expertise et d'inspection dans les domaines de la réalisation et l'exploitation (Ceidre).

2. Technique permettant d'obtenir un état des métaux dans lequel la vitesse de corrosion est ralentie.

AILLEURS

Japon

Onagawa : une centrale résistante au séisme

Située à 120 kilomètres au nord de Fukushima, la centrale nucléaire d'Onagawa est la plus proche de l'épicentre du puissant séisme, suivi d'un tsunami, qui a ravagé la côte est du Japon en mars 2011. Elle arrête pourtant sans problème ses trois réacteurs, et reste apparemment intacte. L'exploitant, Tohoku EPCo, demande une mission indépendante d'expertise pour le confirmer. L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) envoie un groupe de spécialistes de différents pays, dont un représentant de l'IRSN. « J'ai intégré l'équipe d'inspection des structures au début d'août 2012 », se souvient Jean-Philippe Tardivel, expert en génie civil. Les informations recueillies sur la résistance (ou non) des installations iront nourrir une base de données sur

les séismes mise en place par l'AIEA. Les experts effectuent un « walk down » – inspection visuelle des ouvrages – et interrogent le personnel présent lors de la catastrophe. Les résultats, disponibles dans un rapport d'expertise publié sur Internet¹, sont clairs. Les bâtiments classés pour la sûreté, comme le réacteur, conçus selon des normes sismiques sévères, n'ont subi aucun dommage. Les bâtiments annexes, en théorie moins résistants, ont également tenu. « Cela prouve qu'une installation bien conçue et dimensionnée résiste même à de très forts séismes », souligne l'expert français.

1. <https://www.iaea.org/sites/default/files/iaeamissiononagawa.pdf>



Mathieu Derotte, expert en réacteurs de recherche, lors de la visite des dispositions « noyau dur » à l'Institut Laue-Langevin (ILL) à Grenoble (Isère).

© Jean-Marie Huron/Signatures/Médiathèque IRSN

Le génie civil après Fukushima

La catastrophe de Fukushima a conduit à des évaluations complémentaires de sûreté (ECS) des installations nucléaires françaises et européennes. Ces structures sont-elles en mesure de résister à des événements naturels extrêmes pour lesquels elles n'ont pas été dimensionnées ? Peuvent-elles faire face à la perte durable du refroidissement ou de l'alimentation électrique ?

Les exploitants ont analysé leurs installations et rendu leurs rapports – 85 au total – que l'IRSN a examinés. Les experts ont étudié la résistance aux aléas. Ils ont proposé un concept nouveau : celui de « noyau dur ». Les installations les plus sensibles – réacteurs, usines de retraitement... –

sont dotées d'équipements ultimes, capables de faire face à un événement extrême. Par exemple, pour un réacteur, le noyau dur comprendra entre autres un groupe électrogène de secours, une réserve d'eau de refroidissement, un centre de crise « bunkerisé » et des dispositifs de sécurité. Tous ces équipements sont dimensionnés pour résister aux séismes, aux rayonnements, aux tornades, aux inondations...

Les experts suivent la conception et la construction de ces installations. Ils ont recommandé une meilleure prise en compte des effets liés à une tornade et le renforcement de la filtration d'air au sein du réseau de ventilation du poste de commandement de crise.



Reportage photos © Noak/Le Bar Floreal/Médiathèque IRSN

- 1 Jacques Jabbour, expert IRSN, remonte par le trou d'homme de l'une des piscines vidées. Elles sont enrobées d'isolant thermique.
- 2 Ces constructions en bois abritent les appareils hydrauliques et les centrales d'acquisition de données.
- 3 L'expert manipule deux carottes issues des maquettes en béton.

REPORTAGE Jacques Jabbour teste en accéléré l'évolution de blocs de béton représentatifs de l'épaisseur des enceintes de confinement. Objectif : mieux comprendre les maladies du béton. Une première à cette échelle en France.

Recherche

De l'eau chaude pour accélérer les maladies du béton

- 4 Jacques Jabbour montre la taille des fissures. Les flèches colorées servent de repères pour suivre la progression des fissures au fil du temps.

■ BIBLIOGRAPHIE

Les accidents de fusion du cœur des réacteurs de puissance, Didier Jacquemain, coordinateur, État des connaissances. www.irsn.fr/accident-grave

Méthodes d'essais de vieillissement accéléré des bétons à l'échelle des ouvrages
Thèse de Jacques Jabbour. www.irsn.fr/these-jabbour

■ AVIS IRSN

Réaction sulfatique interne (RSI) et réaction alcali-granulats (RAG) présentes dans le radier de l'enceinte du réacteur n° 1 de Civaux (avis IRSN-2017-00288).

Réacteurs électronucléaires - EDF. Tenue au séisme des ancrages des réservoirs RIS 004 BA des paliers CPO et CPY (avis IRSN 2014-00432).

REP - Centrale nucléaire du Bugey - INB n° 89. Défauts d'étanchéité de l'enceinte de confinement du réacteur n° 5 du Bugey (Ain) (avis IRSN 2017-00061).

■ CONTACTS

marie-helene.bonhomme@irsn.fr
georges.nahas@irsn.fr
jacques.jabbour@irsn.fr
corine.piedagnel@irsn.fr
nicolas.pfeiffer@irsn.fr



Trois cuves noires de deux mètres de haut et quatre de diamètre sont alignées sur un terre-plein de l'École normale supérieure (ENS) de Cachan (Val-de-Marne). Dans chacune, un gros bloc de béton baigne dans l'eau. Des câbles électriques et des fibres optiques en sortent, menant à des centrales d'acquisition installées dans trois structures en bois attenantes. Les blocs sont truffés de capteurs destinés au suivi de leur température et leur déformation mécanique au cours du temps. C'est le dispositif expérimental conçu par Jacques Jabbour, un ex-doctorant devenu expert à l'IRSN. L'objectif : accélérer l'évolution des pathologies du béton. Ce matériau peut souffrir de deux maladies lentes : la RSI¹ et la RAG². Toutes deux engendrent des composés expansifs bouchant les pores du béton. Une fois ces derniers remplis, la structure gonfle et se fissure. C'est la phase visible, qui survient normalement après plusieurs décennies. Les instruments

installés dans les structures d'acquisition suivent en temps réel l'évolution du béton. « Tous les mois, après avoir vidangé les cuves, je descends par le trou d'homme, je compte les fissures, les cartographie selon un repère, les photographie et mesure leur ouverture avec une loupe monoculaire dotée d'un fissuromètre. Je calcule ainsi un indice de fissuration », complète Jacques Jabbour. Sans compter l'observation d'échantillons au microscope électronique... Le but est de pouvoir maîtriser ces pathologies et d'améliorer la modélisation du béton en fonction de sa composition, de son historique et de son environnement de conservation. ■

1. Réaction sulfatique interne (RSI) : réaction qui se produit en présence de sulfates, d'aluminates, de portlandite et d'eau, créant des cristaux d'ettringite.
2. Réaction alcali-granulat (RAG) : réaction des alcalins (ions sodium et potassium) avec la portlandite et la silice réactive des granulats, créant un gel expansif.

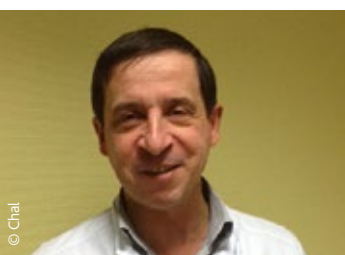


Le réseau d'assainissement national s'étend sur environ 380 000 kilomètres (source : Institut français de l'environnement).

Application Cidre

Mieux connaître l'exposition des égoutiers

L'ESSENTIEL Les personnels des réseaux d'assainissements sont au contact de rejets radioactifs, venant essentiellement de laboratoires médicaux ou de services de médecine nucléaire. Grâce à l'application Web, Cidre¹, il est désormais possible de contrôler l'exposition de ces travailleurs liée aux rejets hospitaliers. **TÉMOIGNAGE** Un médecin nucléaire a testé cet outil. **INFOGRAPHIE** Cidre : comment ça marche ? **AVIS D'EXPERT** Un spécialiste de la radioprotection des populations.



Dr Benoît Denizot

Spécialiste de médecine nucléaire au Centre hospitalier Alpes-Léman (Chal), à Contamine-sur-Arve (Haute-Savoie).

TÉMOIGNAGE « Jusqu'à présent, nous n'avons aucun outil adapté à notre problématique »

« Le service de médecine nucléaire du Centre hospitalier Alpes-Léman (Chal) a testé l'outil Cidre¹ avant sa mise en ligne. Celui-ci apporte une solution nouvelle à une problématique pour laquelle nous ne disposions jusque-là d'aucun outil adapté. Les produits radioactifs rejetés – via les toilettes du service – transitent pendant plusieurs jours par une cuve de retardement située dans les sous-sols de l'hôpital. Du fait de la décroissance, la radioactivité résiduelle est négligeable. En revanche, nous ne maîtrisons pas les rejets dans l'urine des patients qui utilisent les toilettes de leur chambre d'hôpital ni une fois qu'ils sont rentrés à leur domicile (voir infographie page 17-18).

Sur l'application, nous indiquons la quantité totale annuelle administrée de chaque radionucléide – ex-

primée en mégabecquerels (MBq). Nous obtenons l'exposition théorique correspondante en microsieverts (μSv) des travailleurs des réseaux d'assainissement, aux différents postes de travail.

Simple d'utilisation

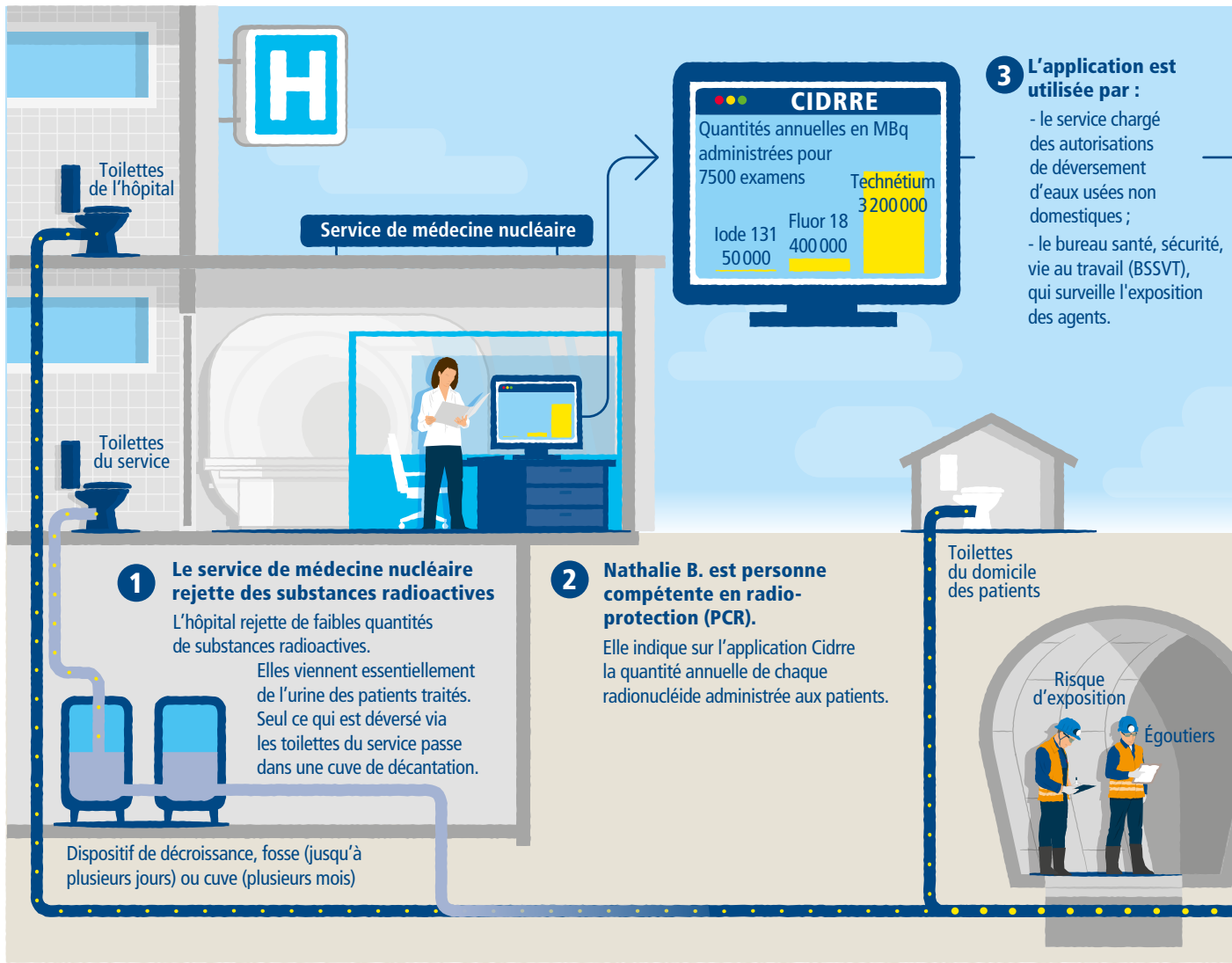
Cidre prend en compte l'hypothèse la plus défavorable, en considérant que l'intégralité des rejets passe directement dans les égouts. Nous avons donc une marge de sécurité importante.

C'est un outil simple à utiliser. Il comporte une liste exhaustive des radionucléides employés en médecine nucléaire, tels que le fluor 18, le technétium 99m et l'iode 131. » ■

1. Calcul d'impact des déversements radioactifs dans les réseaux (Cidre).

Mesurer l'exposition des personnels avec Cidre : comment ça marche ?

Un service de m
7500 actes d'imag
dévèrsements rad
d'assainissement,
Avec Cidre, cette



© Antoine Dagan/Citizen Press/Médiathèque IRSN/Magazine Repères



Le Centre hospitalier Alpes-Léman est partenaire du site pilote de Bellecombe-Sipibel, dispositif d'observation et de recherche sur les effluents hospitaliers et stations d'épuration urbaines.

© Graie 2010

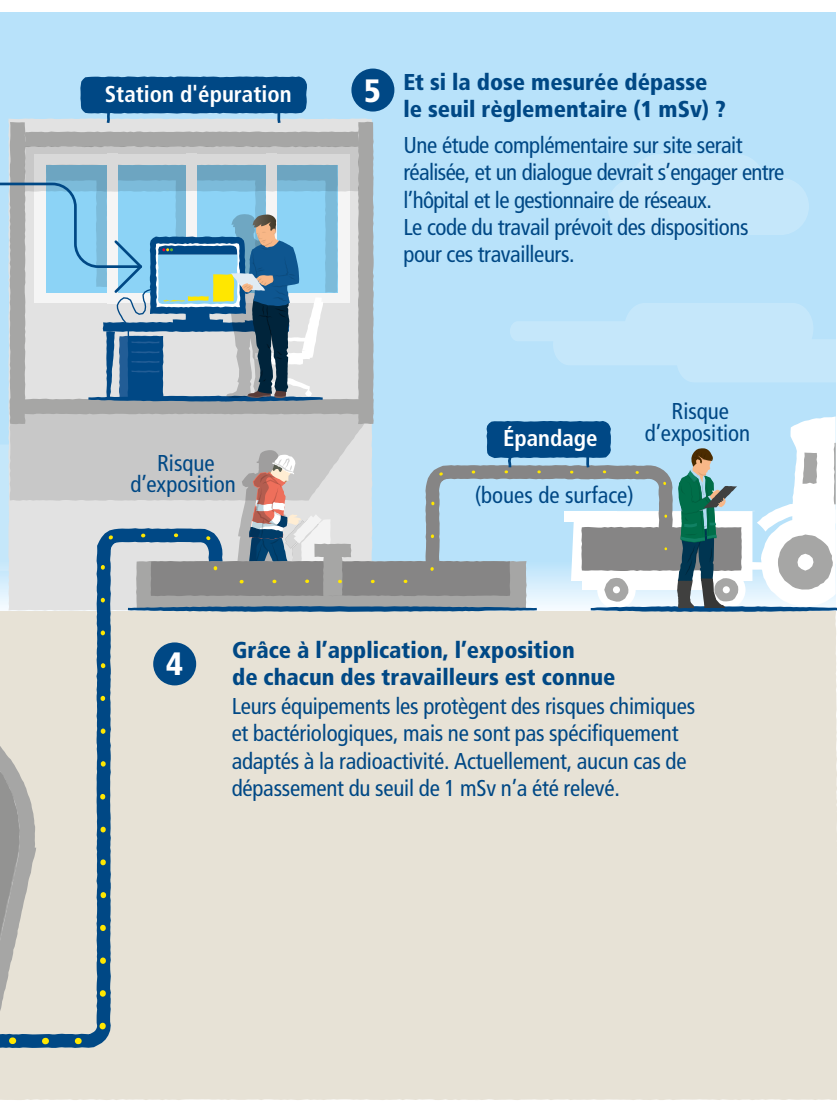
QUELLE EXPOSITION MAXIMALE POUR LES AGENTS ?

La réglementation fixe la limite d'exposition des personnels de 1 millisievert (mSv) par an pour qu'ils n'entrent pas dans des catégories de travailleurs spécialement suivis. Les estimations réalisées pendant les phases de tests de Cidre ont révélé une exposition de l'ordre de 85 µSv par an pour un hôpital de taille moyenne. Un niveau inférieur au seuil maximal réglementaire et qui ne présente aucun risque connu pour la santé de ces agents.

LA CONVENTION DE DÉVERSEMENT

Les quantités de radionucléides qu'un établissement de santé est autorisé à rejeter à l'égout sont définies dans la convention de déversement. À l'hôpital, la personne compétente en radioprotection (PCR) et le signataire de cette convention – le responsable de l'établissement, le plus souvent – doivent produire chaque année un rapport récapitulatif de l'ensemble des radionucléides administrés, et donc potentiellement déversés.

La médecine nucléaire de taille moyenne réalise environ 1000 actes de diagnostic et de traitement par an. Il en résulte des rejets de radionucléides dans les égouts de l'hôpital. Dans les réseaux d'assainissement, l'exposition du personnel est en contact avec ces radionucléides. Cette exposition est mieux connue.



Un contrôle régulier des effluents au sortir de l'établissement hospitalier est réalisé. Si l'activité moyenne mesurée est supérieure à celle précisée dans la convention, l'établissement doit en étudier les causes, voire prendre des mesures correctives.

OÙ TROUVER CIDRRE ?

<https://cidre.irsn.fr>
L'application donne également accès au rapport réalisé par l'IRSN dans le cadre du groupe de travail.

POUR ALLER PLUS LOIN

La convention de déversement :
article L. 1331-10 du code de la santé publique

Quels sont les risques des rejets hospitaliers ?
À lire dans *Repères* n° 24, p. 14-15.

Base de connaissances :
La radioprotection des travailleurs –
www.irsn.fr/RP-travailleurs

AVIS D'EXPERT



©Philippe Dubreuil/Médiathèque IRSN

Michel Chartier

Expert en radioprotection

« Une évaluation objective de l'exposition des agents »

“ Cidre agit comme un juge de paix dans le dialogue entre établissements de médecine nucléaire et stations d'épuration. L'application résout un problème concret de radioprotection et remplit une véritable mission de service public. C'est un outil pratique pour déterminer l'exposition des travailleurs aux radionucléides déversés par les établissements de soins et les laboratoires de recherche dans les réseaux d'assainissement. Les responsables de ces derniers, soucieux de la santé de leur personnel, disposent d'un outil répondant à leur préoccupation. Les services hospitaliers s'assurent que leurs rejets ne représentent pas un risque sanitaire en aval. C'est l'aboutissement d'un projet lancé en 2012 à l'initiative de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). La méthode mise au point a été validée en 2016 par un groupe de travail qui comprend l'IRSN et des représentants des services de médecine nucléaire ainsi que des gestionnaires de réseaux d'assainissement. L'application Cidre a été développée à l'Institut et est aujourd'hui gratuitement mise à la disposition des professionnels, sur le site irsn.fr.



Michel Chartier
michel.chartier@irsn.fr

La société civile s'implique dans le dossier Cigéo

Les experts étudient le dossier d'options de sûreté du futur Centre industriel de stockage géologique des déchets nucléaires (Cigéo), exploité par l'Andra. Pour la première fois, la société civile a été sollicitée en amont pour participer au processus d'élaboration de l'avis. Quatre séminaires ont été organisés. Retour sur cette première en cinq questions.

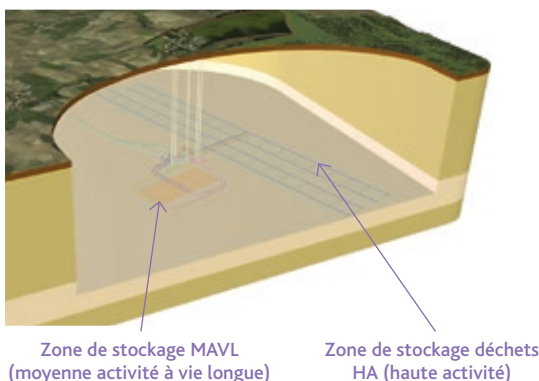
1 Quels étaient les objectifs de ces séminaires et qui étaient les participants ?

Le dialogue technique sur les déchets HA (haute activité) et MAVL (moyenne activité à vie longue) est engagé depuis 2012. L'IRSN a présenté ses expertises lors de plusieurs rendez-vous avec des représentants de la société civile. La prise en compte des questionnements des citoyens dans le processus d'instruction des dossiers majeurs n'avait jamais été expérimentée. L'examen du dossier d'options de sûreté (DOS)¹ de Cigéo est le dernier grand jalon avant la demande d'autorisation de création (DAC). Au printemps 2016, le DOS de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) est remis à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), à l'Institut et à des représentants de la société civile. Plusieurs acteurs y ont accès : des membres du Comité local d'information et de suivi (Clis) de Bure (Meuse), de la Conférence des citoyens, de l'Association nationale des comités

et commissions locales d'information (Anclli) et des experts indépendants. Tous étaient invités par l'IRSN à poser leurs questions et à échanger au cours de quatre séminaires organisés entre octobre 2016 et juillet 2017. C'est la première fois que les citoyens sont sollicités dès le début de la procédure. « Les réunions se sont déroulées en amont afin de comprendre le déroulement d'une instruction. Auparavant, le processus était parfois perçu comme opaque », résume Delphine Pellegrini, experte en déchets radioactifs à l'IRSN.

1. L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a publié mi-janvier son avis, suite à l'expertise de l'IRSN. Le DOS est jugé globalement satisfaisant. L'Autorité impose à l'Andra de renforcer sa démonstration, notamment au niveau de la sûreté des déchets bitumés.

Installations de surface et souterraines de Cigéo. Schéma de principe.



2 Des questions nouvelles ont-elles été soulevées ?

Les questions techniques des citoyens portaient sur les risques d'infiltration des eaux, la ventilation des puits, la sécurisation des alvéoles ou encore la récupérabilité des colis et les risques en exploitation... « Toutes avaient déjà été relevées par les experts de l'IRSN », souligne Denis Stolf, du Clis. Ce travail d'explication a été utile pour l'Institut : « Pour être plus compréhensibles, nous avons dû développer davantage notre rapport d'expertise sur certains points que nous avons jugés moins préoccupants. Comme la question du contrôle des colis de déchet », indique Delphine Pellegrini.



Muriel Rocher (au centre), géologue à l'IRSN, visite le laboratoire souterrain de l'Andra à Bure (Meuse).



Entre octobre 2016 et juillet 2017, quatre séminaires sont organisés pour répondre aux questions des citoyens sur le projet Cigéo.

3 Quels ont été les points d'incompréhension ?

Une discussion s'est engagée autour des termes utilisés par l'Andra, jugés parfois jargonneux. « Par exemple, un chapitre était lié à la "maîtrise des incertitudes" ; ces termes mis côte à côte semblent un non-sens », se souvient Géraldine Perroud, de la Conférence des citoyens. Des incompréhensions ont subsisté sur des notions délicates, comme

celle de « réversibilité ». « Sa définition a complètement changé depuis les débuts du projet, ce qui explique une méfiance de la part de certains locaux », rappelle Géraldine Perroud.

www Pour en savoir plus
Base de connaissances : la gestion et le stockage des déchets radioactifs
www.irsn.fr/dossier-dechets



Journée de formation sur le projet Cigéo avec le Comité local d'information et de suivi (Clis), en octobre 2016, à Saudron (Haute-Marne).

© Gilles Crampes/BSM International/Médiathèque IRSN



4 Quel a été le rôle de l'IRSN face aux questions de la société civile ?

L'IRSN a facilité le débat. Il a présenté par exemple un rapport préliminaire de son expertise sur le DOS pour aider les citoyens à appréhender les différents thèmes techniques. Les sujets y étaient marqués par un code couleur vert, orange ou rouge, en fonction de l'aspect préoccupant ou non des différents points. « Ce document a soulevé des réactions dès le premier rendez-vous », se souvient Delphine Pellegrini. Pour l'experte, une grande partie du travail a consisté à recueillir ces questions et à s'assurer que les enjeux associés étaient bien compris. « Le séminaire en plusieurs temps a permis de voir si une question déjà traitée et expliquée revenait ensuite, ce qui nous montrait que certains interlocuteurs n'avaient pas compris les explications. Cela nous a obligés à davantage de pédagogie. » « Les experts ont joué le rôle d'interprète, en traduisant les questions du public vers l'Andra et les réponses de l'Agence vers le public », note de son côté Géraldine Perroud.

© Anrcfil

5 Quel est le bilan de cette première expérience d'implication de la société civile ?

« Nous sommes satisfaits de cette initiative. Elle contribue à la transparence », salue Denis Stolf, président du Clis de Bure. De son côté, l'Institut espère poursuivre l'expérience. « Nous aimerions reconduire ce type de démarche pour l'instruction de la demande d'autorisation de création. J'espère même avant, précise Delphine Pellegrini. Cette échéance se situe dans deux ans. Il

serait dommage d'enrayer la dynamique ! » Un colloque a été organisé en mars sur le risque pour la santé d'exposition à de faibles doses de rayonnements ionisants sur de longues périodes. « Il subsistait de nombreuses questions sur ce thème qui méritaient d'être explicitées hors du cadre du DOS ». Un prochain séminaire est envisagé avec la société civile fin 2018.



Des députés visitent le centre de Meuse/Haute-Marne de l'Andra.

© Andra

Formation

Dans les entrailles d'une (fausse) centrale

À La Ciotat (Bouches-du-Rhône), des étudiants en radioprotection et sûreté nucléaire s'entraînent sur un chantier école. Visite guidée.

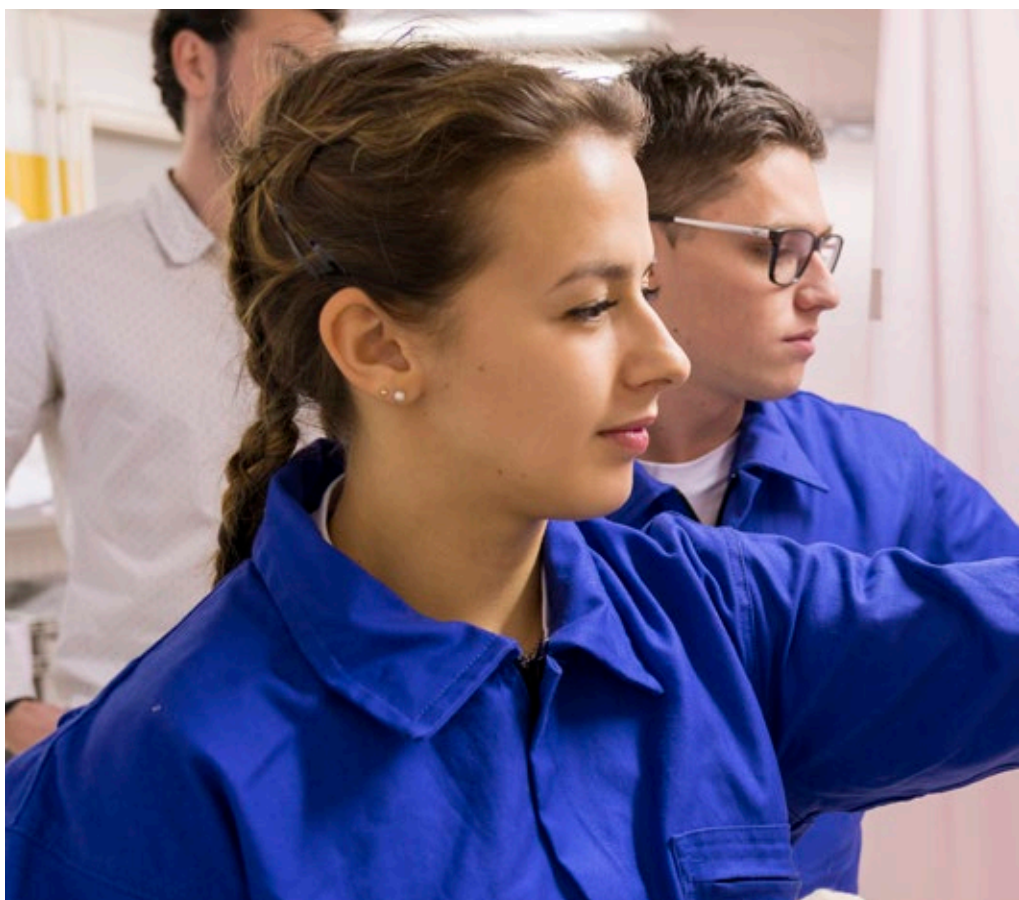
Combinaison enfilée, casque sur la tête, gants bien ajustés. Les deux agents fixent leurs dosimètres et se dirigent vers le sas d'entrée. Centrale du Bugey? De Golfech? Pas du tout. Nous sommes à La Ciotat, au département hygiène, sécurité, environnement de l'IUT d'Aix-Marseille. Franck Falco, responsable pédagogique de la licence professionnelle radioprotection et sûreté nucléaire, a reproduit les éléments d'une installation nucléaire de base, dans une ancienne cuisine. L'objectif : initier les étudiants à la problématique de la gestion des risques.

Plusieurs situations reproduites

Opérationnelle depuis novembre dernier, la plateforme Extreme (Exposition des travailleurs en milieu nucléaire) frappe par son réalisme : rideaux de vinyle, circuit hydraulique, pompe, portique de détection de la contamination, contrôleur mains-pieds... « J'ai collecté ces appareils déclassés, se réjouit Franck Falco, pour offrir à nos étudiants un outil de travail qui se rapproche des conditions dans lesquelles ils évolueront lors de leur activité professionnelle. Plusieurs environnements sont reproduits : cycle du combustible, réacteur embarqué, centrale... » La radioactivité est simulée par des ondes de radiofréquence, et la contamination prend la forme de brouillards chimiques – inoffensifs.

Action, observation, débriefing

Ce matin, les douze étudiants suivent un scénario écrit par leur professeur. Ils doivent préparer l'intervention d'une équipe appelée à changer un filtre à eau dans un local qui n'a pas été ouvert depuis dix ans. Les missions : effectuer une cartographie précise de la radiologie des lieux, lister les « points chauds », et minuter l'intervention pour limiter l'exposition radiologique des agents. Ils inspectent les lieux à tour de rôle, en binôme, sous l'œil de Jérémy Marinetti, ancien étudiant



désormais chargé d'affaires en radioprotection chez EDF. Puis s'installent devant une feuille pour rédiger le RTR, le régime de travail radiologique, qui consignera toutes leurs prescriptions – inventaire des risques, zonage radiologique, débit de dose au poste de travail, temps d'intervention pour limiter l'exposition des agents. Et dans l'après-midi, une équipe

de deux étudiants réalise l'intervention en conditions réelles, pendant que le reste de la promo observe les opérations via une caméra, commentant et débattant avec Franck Falco et Jérémy Marinetti. ■

WWW Pour en savoir plus :
<https://iut.univ-amu.fr>



DIAPORAMAS

Retrouvez tous les reportages!



**L'équipement :
une étape clé**

www.irsn.fr/R37



**Après
l'exercice, le
déshabillage**

www.irsn.fr/R37



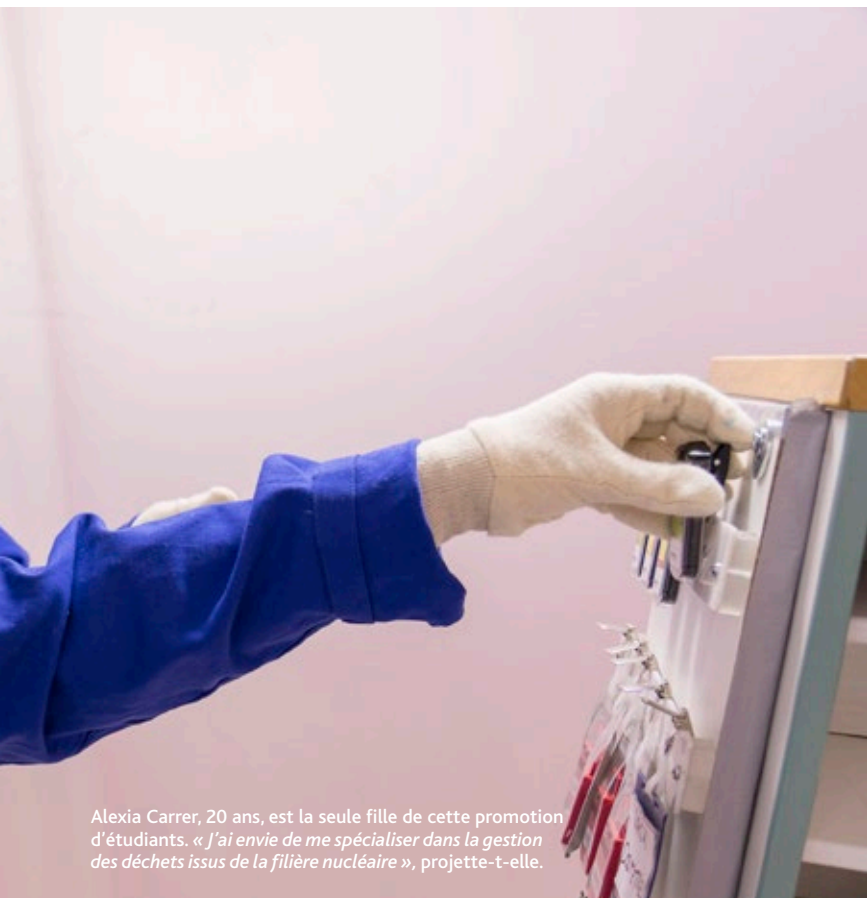
Équipements de sécurité

Avant de pénétrer sur la plateforme, les étudiants observent un protocole d'équipement et d'habillement précis et codifié. Une fois qu'ils ont enfilé leur combinaison, ils vérifient mutuellement leur tenue et se saisissent de leurs dosimètres actifs et passifs.



Échanges et débats

Grâce à la supervision vidéo du local, Franck Falco suscite la discussion sur la pertinence des actions menées par les étudiants et la conformité du scénario élaboré dans le régime de travail radiologique (RTR). Ce volet pratique est l'un des points forts de la licence en alternance, qui comprend 17 semaines de cours et 32 en entreprise.



Alexia Carrer, 20 ans, est la seule fille de cette promotion d'étudiants. « J'ai envie de me spécialiser dans la gestion des déchets issus de la filière nucléaire », projette-t-elle.

Reportage photo © Noak/Le Bar Floreal/Médiathèque IRSN



Après la pratique, la théorie

Les étudiants débriefent, analysent leurs données et s'attaquent à la rédaction du RTR qui dressera le scénario de l'intervention pour les agents amenés à travailler sur le site.



Le local passé au peigne fin

Détecteur en main, les étudiants doivent répertorier les différentes sources radioactives cachées par leur professeur. Cette cartographie sera transmise aux agents qui travailleront sur le site, afin de limiter autant que possible leur exposition aux radiations.



Des débouchés multiples

Les exercices familiarisent les étudiants avec leur futur environnement professionnel. Ils se dirigent vers des postes en radioprotection, de technicien en prévention des risques, chez des entreprises du nucléaire ou des sous-traitants. Ancien étudiant, Jérémy Marinetti assure régulièrement des formations à l'IUT.



Le suivi dosimétrique facilité

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



Pour en savoir plus
Laboratoire de dosimétrie de l'IRSN (LDI)
E-mail : dosimetre@irsn.fr
Sites : dosimetre.irsn.fr

