

REPÈRES

REPORTAGE

Accident radiologique :
le tri des victimes optimisé

FAITS ET PERSPECTIVES

Mieux évaluer le risque incendie
dans des installations nucléaires

DOSSIER

Surveillance de l'air
Quelles sont les améliorations ?



Exposition Radioactivité

Les différents types de rayonnements, voyage au centre de la matière... Après avoir vu l'exposition *Radioactivité : découvrir et comprendre*, la radioactivité, ses usages, ses risques, n'auront plus aucun secret pour vous ! Lycées, commissions locales d'information, centres de culture scientifique... sont invités à emprunter les panneaux qui la composent, en remplissant un formulaire en ligne.

www.irsn.fr/exposition-radioactivite



Cidre s'enrichit

Égoutiers, personnels des stations de traitement des eaux... le logiciel

Cidre – Calcul d'impact des déversements radioactifs dans les réseaux – évalue la dose pouvant être reçue par ces travailleurs. Une nouvelle version de l'outil est en ligne. Elle intègre de nouveaux radionucléides utilisés en médecine nucléaire et affine les calculs relatifs au lutétium 177, utilisé en oncologie.

<https://cidre.irsn.fr>



Évolutions techniques en radiothérapie : facteurs humains

Comment les activités et savoirs des professionnels en radiothérapie évoluent face à un nouvel outil ? Comment se l'approprient-ils ? Quels facteurs favorisent ou entravent le processus ? Une étude du Laboratoire de recherche en sciences humaines et sociales (LSHS) de l'IRSN répond à ces questions sous l'angle des facteurs organisationnels et humains (FOH).

www.irsn.fr/techniques-radiotherapie-facteur-humain

Agenda

26 janvier 2023

Paris 12^e

Journée scientifique de l'APCRAP

L'association de PCR et acteurs de la radioprotection vous donne rendez-vous pour leur première journée de l'année. Des thèmes d'actualité seront présentés par l'association ou des invités extérieurs. Retrouvez les experts de l'IRSN présents sur un stand.

Plus d'informations : <https://apcrap1.jimdofree.com>

Mi-mars 2023

Nouveau Siseri

Le nouveau Système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants – Siseri – sera disponible pour des utilisateurs avant la fin du printemps. Actuellement en cours de refonte, il centralise et conserve tous les résultats des mesures individuelles de l'exposition des travailleurs. La nouvelle page est consultable (voir ci-dessous).

Plus d'informations : <https://siseri.irsn.fr/>

Online WEBMAG

www.irsn.fr/R56



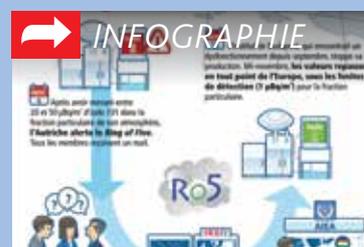
Faits et perspectives
Des expériences sur des câbles électriques



Dossier
La radioactivité mesurée en continu protège les individus



Dossier
Radioactivité dans l'air : évaluer les risques



Dossier
Le réseau Ring of Five suit les traces



Dossier
La surveillance de l'air autour de la centrale de Gravelines



Dossier
Étude radiologique de site Saint-Alban Saint-Maurice (Isère)

Abonnement

POUR VOUS ABONNER

www.irsn.fr

Rubrique l'IRSN > Publications > Magazine Repères

Sommaire

En couverture : Sur le toit de la gendarmerie de Toussus-le-Noble (Yvelines), techniciens de l'IRSN et de la gendarmerie, Martial Chevreuil et Vincent Rembowski (de gauche à droite), installent une nouvelle balise de surveillance de l'air Télecay.

P.4 TEMPS FORTS

Corrosion sous contrainte
Quelles sont les répercussions pour les centrales en France ?

Zones radio-contaminées
Quels effets à long terme sur la biodiversité ?

P.6 FAITS ET PERSPECTIVES

Installations nucléaires
Mieux évaluer le risque incendie

P.9 ZOOM

C'est du billard



Qualité de l'air **Surveiller, alerter, partager**

À l'heure du *big data*, l'IRSN vise de nouveaux objectifs pour la surveillance de la radioactivité dans l'air en France, qu'il réalise depuis plus de soixante ans.

Il souhaite renforcer l'exploitation de ses mesures dans l'air, y compris les données historiques, dont il étudie la mise à disposition de la communauté scientifique. Ces données servent par exemple à mieux modéliser des phénomènes de dispersion. Elles sont aussi utilisées en recherche, pour évaluer la composante radiologique de l'exposome, cet ensemble des expositions à des facteurs environnementaux que subit un individu au cours de sa vie.

Pour cette surveillance, l'Institut a un souci d'amélioration constant, afin de détecter et de caractériser tout événement radiologique. Fin 2021, il actualise et publie sa stratégie.

Le dossier de ce *Repères* présente les différents dispositifs de surveillance de l'air.

Quelques cas récents – les feux de forêt à Tchernobyl, les sables du Sahara, la guerre en Ukraine... – illustrent le fonctionnement de cette surveillance, les renforcements de la mission d'alerte et les avancées techniques.

Marc Glezes

Adjoint du directeur de l'environnement

**Dossier du prochain numéro :
Effluents : quelles avancées pour la sûreté ?**

DOSSIER P.10

**Surveillance de l'air
Quelles sont les améliorations ?**



P.17 EN PRATIQUE

Rejets radioactifs dans l'environnement
Évaluer l'impact d'un cyclotron

P.20 INTÉRÊT PUBLIC

Les lycéens mesurent les enjeux de la radioprotection



P.22 REPORTAGE

Accident radiologique
Trier des victimes grâce aux analyses

REPÈRES – Éditeur : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire - Membre d'Etson  – 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 communication : Marie Riet-Hucheloup – Rédactrice en chef : Catherine Rouleau – Ont collaboré à ce numéro : Agnès Dumas, Pascale Monti – Comité de lecture : Louis-Michel Guillaume – Rédaction et réalisation, maquette et direction artistique : ABG Communication – Iconographie : Sophie Suberbère – Photo de couverture : ©Thierry Borredon/Signatures/IRSN – Impression : Handprint (50) – Imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement – ISSN : 2103-3811 et 2491-8776 (Web) – janvier 2023.

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Nanoparticules

Un traitement cutané à l'étude

Évaluer l'efficacité de traitements décontaminants en cas d'exposition cutanée à des solutions de nanoparticules (NP) métalliques d'argent et de dioxyde de titane. En poursuivant cet objectif, le projet Napeauli a permis de développer un modèle expérimental pour disposer *in fine* de moyens de lavage efficaces. Avec l'essor des nanotechnologies, un nombre croissant de travailleurs sont exposés à ces contaminants, y compris dans l'industrie nucléaire. Mais les médecins du travail ne disposent pas de traitements spécifiques. Napeauli montre que la crème lavante à base de calixarène* serait prometteuse grâce à son action sur les NP et les ions solubilisés pour les NP d'argent. Le projet est cofinancé par l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses). Il est mené par le Laboratoire de recherche en radiochimie, spéciation et imagerie (LRSI) de l'IRSN à Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine) et le Laboratoire de biologie médicale du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) de Grenoble (Isère).

* Une nanoémulsion à base de calixarène – crème Cévindra® – est déjà commercialisée. Elle est préconisée en cas de contamination cutanée à l'uranium et aux actinides.

SURVEILLANCE DE L'AIR

480*

balises du réseau Téléray donnent l'alerte en cas d'accident radiologique.

* parc installé au 1/11/2022.

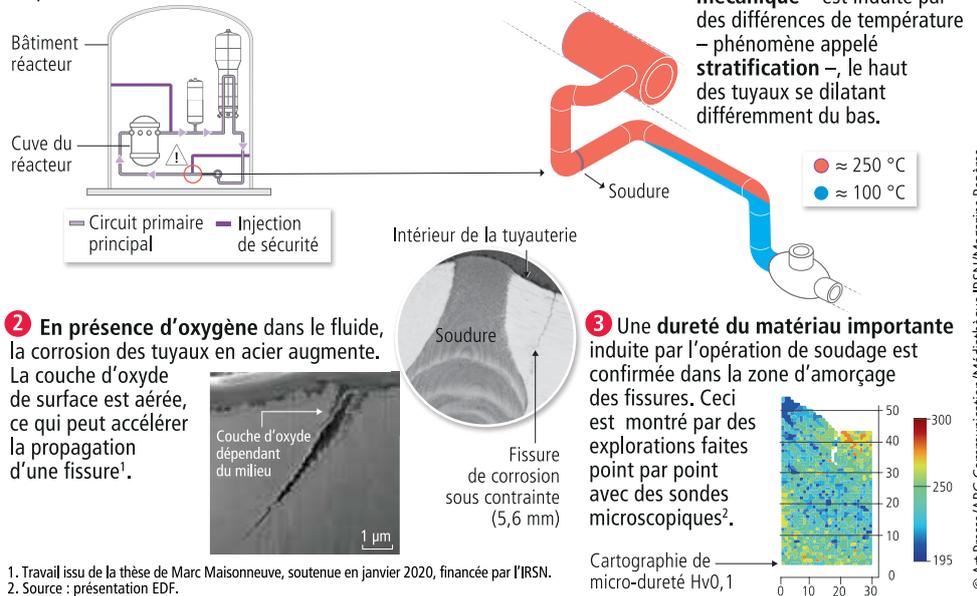
50

stations du réseau Opera mesurent avec précision les niveaux de contamination radiologique.

Rendez-vous page 10 pour découvrir comment fonctionnent ces deux réseaux et à quoi ils servent.

Sûreté

Corrosion sous contrainte (CSC) : trois causes sont à l'étude. Ce phénomène affecte des tuyauteries de plusieurs réacteurs en France.



Corrosion sous contrainte

Quelles sont les répercussions pour les centrales en France ?

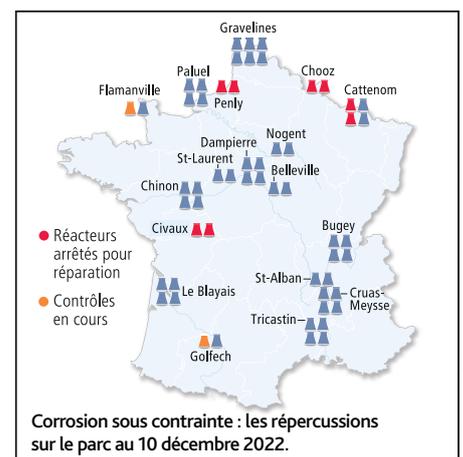
Détectée en août 2021 lors de la deuxième visite décennale de l'unité 1 de la centrale de Civaux (Vienne), la corrosion sous contrainte (CSC) de tuyauteries du système d'injection de sécurité affecte de nombreux réacteurs. Sont concernés tous les 1 450 MWe – Civaux et Chooz (Ardennes) – et certains 1 300 MWe – Cattenom (Moselle) et Penly (Seine-Maritime) notamment. Les quatre réacteurs de 1 450 MWe sont à l'arrêt. Les contrôles se poursuivent sur l'ensemble du parc. Les chantiers de réparation – remplacement des tuyaux concernés – sont planifiés, en cours, ou terminés selon les réacteurs.

Réagir vite en cas de fuite

Afin de limiter le risque pour les installations en fonctionnement, des mesures compensatoires proposées par EDF, et complétées à la suite de l'expertise de l'IRSN¹, sont appliquées. Elles visent à réagir rapidement en cas de fuite. D'après des études thermohydrauliques faites par l'industriel et l'IRSN² concernant les 1 300 MWe, la rupture simultanée de deux lignes d'injection de sécurité n'empêcherait pas de refroidir le cœur. Les études mécaniques d'EDF sur le risque de rupture brutale des tuyauteries sont expertisées par l'Institut³.

Elles contribueraient à justifier temporairement le fonctionnement de réacteurs affectés par des fissures de CSC de profondeur limitée. La recherche des causes de ce phénomène inattendu se poursuit. En plus d'une dureté importante de l'acier dans la zone d'amorçage des fissures due au soudage, l'industriel met en avant des chargements mécaniques plus intenses que prévu sur ces tuyauteries (voir ci-dessus). Les experts poursuivent de leur côté la piste d'effets de la concentration d'oxygène dans le fluide.

1. Avis de l'IRSN du 6 juillet 2022 ; 2. du 21 juillet 2022 ; 3. du 28 juin 2022.



Environnement



La nuit, les rainettes mâles chantent pour attirer les femelles. Clément Car, doctorant à l'IRSN, tend l'oreille pour les capturer.

© Jean-Marc Bonzom/IRSN

“La contamination radioactive pourrait être à l'origine du déclin des populations de grenouilles.”

Zones radio-contaminées Quels effets à long terme sur la biodiversité ?

Quel est l'état de la faune des territoires radio-contaminés de la préfecture nippone de Fukushima ? Grâce à une mission mise en œuvre en 2022, la rainette, une grenouille arboricole, livre des éléments de réponse. La mission est menée par l'IRSN – Laboratoire de recherche sur les effets des radionucléides sur les écosystèmes de Cadarache (Bouches-du-Rhône) – et les universités de Fukushima (Japon)¹ et d'Aix-Marseille². En 2013, une première étude sur les rainettes dans cette préfecture nippone met en évidence une augmentation des dommages de l'ADN mitochondrial et une altération de leur chant. Un travail³ sur la même grenouille trente ans après l'accident de

Tchernobyl montre un fort taux de mutations et un faible nombre d'individus dans la zone d'exclusion. Leurs processus physiologiques majeurs liés au métabolisme énergétique apparaissent aussi altérés. L'étude en cours vérifie la présence de telles évolutions à Fukushima et examine l'état physiologique des rainettes onze ans après l'accident. Elle vise une meilleure évaluation des risques écologiques.

1. Institute of Environmental Radioactivity.
2. Unité mixte Aix-Marseille Université/Inrae.
3. Car C. et al. (juillet 2021) Evolutionary Applications, 203.

WWW Pour en savoir plus : Les effets sur les écosystèmes résultant des accidents de Tchernobyl et de Fukushima. <https://urlz.fr/jcTJ>

Santé



Une caméra numérique a remplacé la scintigraphie myocardique classique, abaissant les doses de rayonnements et les temps d'examen. Cet examen sert à visualiser la perfusion du muscle cardiaque.

Professionnels de santé

L'exposition baisse, révèle une cohorte de professionnels de santé

Comment évolue l'exposition des professionnels de santé aux rayonnements ionisants ? Pour le savoir, l'étude « Experts » vient d'être réalisée par l'Institut auprès de 1 500 travailleurs¹ sur la période 2009 à 2019. Elle montre que leur exposition externe diminue de 0,008 mSv par an².

Cette étude vise à mieux caractériser les groupes de travailleurs exposés aux rayonnements ionisants, l'exposition étant hétérogène selon l'activité menée, le service et le sexe. Ainsi, ceux exerçant en médecine nucléaire sont les plus exposés, avec 0,36 mSv

par an en moyenne, une exposition stable sur la durée de l'étude.

Du côté des moyens de radioprotection³, 79 % déclarent porter un dosimètre et 82 % utilisent un accessoire comme un tablier plombé, un paravent, etc.

1. Étude réalisée dans neuf hôpitaux au sein des centres hospitaliers universitaires (CHU) de Paris, Bordeaux et Clermont-Ferrand.
2. La dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé dans le domaine médical en 2021 était de 0,27 mSv www.irsn.fr/Bilan-exposition-professionnelles-2021
3. Données recueillies via un questionnaire, auquel 25 % des professionnels ont répondu.

Incidents

Le centre de crise est mobilisé

Le 21 septembre 2022, un incendie se déclenche dans un atelier contenant de l'uranium sur le site Framatome à Romans-sur-Isère (Drôme). Quelques jours plus tard, le 26 septembre, un incident survient dans le sous-marin nucléaire *Perle* à la base navale de Toulon (Var).

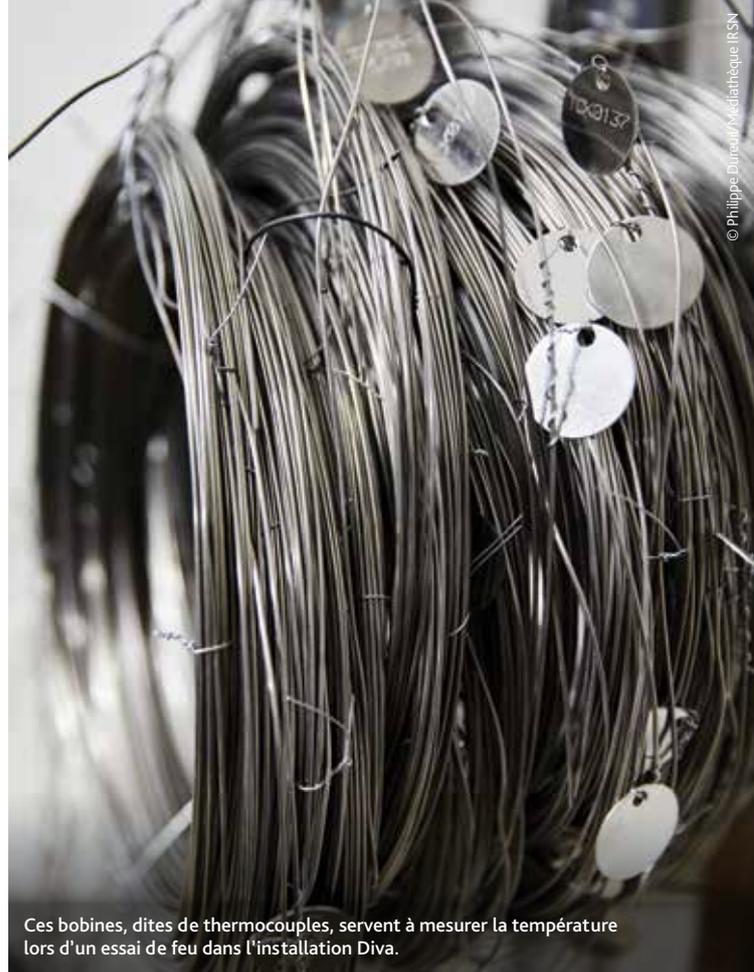
Pour ces deux événements, l'Institut active son organisation de crise et son centre technique de crise (CTC) situé à Fontenay-aux-Roses dans les Hauts-de-Seine, en lien avec les autorités de sûreté nucléaire et la préfecture. L'objectif est d'évaluer la situation et les risques pour la population et l'environnement. L'Institut dépêche sur place des experts et des moyens mobiles pour effectuer des prélèvements et des mesures dans l'environnement. Ces dernières ne révèlent aucune trace de radioactivité anormale. En parallèle, le centre de crise est toujours mobilisé pour suivre l'état des installations nucléaires en Ukraine – notamment la centrale de Zaporija – et réalise une veille continue des niveaux de radioactivité dans l'environnement.

WWW Pour en savoir plus : Incident à l'usine Framatome de Romans-sur-Isère www.irsn.fr/incident-framatome-2022 Incident sur la base navale de Toulon : résultats des mesures et analyses réalisées par l'IRSN www.irsn.fr/incident-navale-toulon-2022 Situation des installations nucléaires en Ukraine www.irsn.fr/ukraine

FAITS ET PERSPECTIVES



L'installation Diva – Dispositif incendie ventilation et aérocontamination – de l'IRSN à Cadarache est dédiée à l'étude des incendies. Serge Pons, chargé d'affaires ingénierie, contrôle les paramètres de ventilation du circuit d'extraction des gaz.



Ces bobines, dites de thermocouples, servent à mesurer la température lors d'un essai de feu dans l'installation Diva.

Installations nucléaires

Mieux évaluer le risque incendie

Quels sont les chemins de propagation d'un feu ?

Quelles sont les conséquences si le foyer est en hauteur ? Dans une installation nucléaire, l'incendie peut causer un accident.

Des recherches pour mieux le comprendre et le maîtriser visent *in fine* à l'éviter ou à limiter ses conséquences.

En avril 2021, un transformateur s'enflamme à la centrale de Paluel en Seine-Maritime, en raison d'un défaut électrique. Mai 2004, un incendie mettant en jeu des câbles électriques se produit à Cattenom, en Moselle, imposant l'arrêt du réacteur numéro 2. Si ces événements n'ont pas eu de conséquence majeure ni pour la sûreté, ni pour l'homme et l'environnement, l'incendie est aujourd'hui identifié comme une des principales sources d'accident dans les installations nucléaires. Il est donc redouté.

Des feux complexes

En 2022, vient de s'achever le programme de recherche international Prisme 3, mené pendant cinq ans pour mieux appréhender ce risque et faire progresser les connaissances. Ses résultats servent aux experts qui évaluent le risque incendie dans les

installations et les dispositions prises à cet égard par les exploitants.

Un incendie dans une installation nucléaire a des caractéristiques spécifiques. En cause, l'indispensable garantie du confinement de la radioactivité et les apports en oxygène limités. Les feux survenant dans ces conditions sont complexes à appréhender. Effets de pression en local confiné, ré-inflammation des produits de la combustion... les risques associés sont particuliers. Les outils de simulation classiques ne suffisent pas à modéliser la propagation d'un feu.

Autre spécificité : dans une centrale, des câbles électriques parcourent plusieurs centaines de kilomètres – dans les galeries techniques, les salles de commande, etc. – constituant une quantité très significative de matériau inflammable. Ils peuvent être à l'origine d'un départ de feu et se comporter comme un vecteur de l'incendie. C'est

ce qui s'est produit en 1975, à la centrale américaine de Browns Ferry, où plus de 1 600 câbles endommagés conduisent à l'arrêt d'un des réacteurs. En France, une centaine de départs de feu ayant comme origine un court-circuit ou une surchauffe de câble se sont produits dans les centrales entre 2018 et 2020.

Chemin de propagation

Le programme de recherche Prisme 3 porte sur l'étude des incendies et de leurs vecteurs de propagation dans les locaux confinés et ventilés typiques d'une installation. Les expérimentations sont réalisées par le Laboratoire d'expérimentation des feux (LEF) – à Cadarache dans les Bouches-du-Rhône –, dans les installations de la plateforme Galaxie. Des chercheurs et des doctorants y conduisent des expériences mettant en jeu des locaux de grandes dimensions équipés de plusieurs centaines de capteurs, de caméras vidéo, de balances, de mesures de gaz... Ils suivent en temps réel le développement du feu.

Parmi les thèmes étudiés : la stratification et la propagation des fumées lors d'un incendie dans une installation multi-compartiments¹,

la progression d'un feu d'armoire électrique vers des armoires électriques voisines², ou encore l'avancement d'un feu sur des chemins de câbles dans un local confiné et ventilé³.

De la recherche à l'expertise

Certains résultats sont valorisables par l'IRSN lors de l'expertise des dossiers de sûreté. C'est le cas de ceux obtenus lors d'essais analysant les différents chemins de propagation entre une armoire électrique et d'autres armoires, dans des configurations adjacentes ou opposées (voir infographie ci-contre).

« Contrairement à une hypothèse figurant dans le guide NUREG (CR-6850)⁴, rapporte Pascal Zavaleta, ingénieur-chercheur dans le domaine de l'incendie, ces essais montrent qu'un faible espace libre entre deux armoires adjacentes n'empêche pas la propagation du feu d'une armoire à l'autre. » Ce constat confirme les interrogations de l'IRSN quant au choix de scénarios dits « majorants⁵ » retenus dans certains locaux, qui excluent une telle propagation. Ces essais confirment le gain en matière de sûreté qu'apporte l'utilisation de câbles bien qualifiés – du point de vue des normes de réaction au feu – dans tous les locaux à enjeux de sûreté, même quand ceux-ci ne sont plus alimentés électriquement.

Foyers en hauteur et expériences à échelle réelle

D'autres résultats acquis grâce à Prisme 3 mettent en évidence les limitations actuelles des outils de calculs.

Une campagne⁷ s'intéresse au cas d'un foyer en hauteur dans un local, par rapport à un foyer au sol. « La stratification des gaz au sein du local en feu est fortement modifiée selon la configuration. Les modèles analytiques simples n'avaient pas pu prédire correctement la puissance de l'incendie lorsque le foyer est en hauteur », rapporte Hugues Pretrel, expert en incendie. Dans les installations, les câbles cheminent parfois près du plafond. Des études complémentaires sont en cours. Elles permettront de mieux prendre en compte les foyers surélevés dans les simulations.

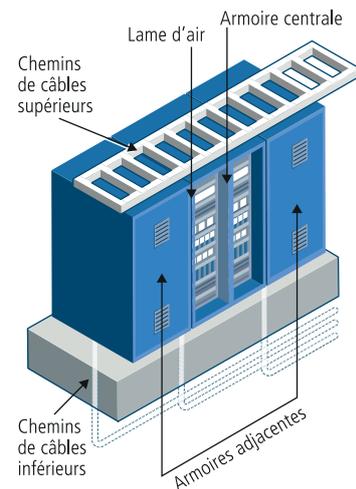
Une autre série d'essais quantifie pour la première fois la vitesse de propagation de flammes et la longueur maximale de câbles en feu sur de longs chemins de câbles – six mètres – positionnés dans une galerie technique bien ventilée.

PROCESS

Propagation du feu entre armoires électriques : comment ce risque est étudié ?

Les armoires électriques contribuent au risque électrique dans les centrales nucléaires. Des essais déterminent les chemins de propagation du feu.

La propagation du feu entre armoires est étudiée



Les essais* réalisés au sein du programme Prisme 3 portent sur la propagation du feu entre une armoire centrale porte ouverte et deux armoires adjacentes portes fermées.

Trois chemins de propagation potentiels sont étudiés :

- via une lame d'air de 1 cm séparant l'armoire centrale et les deux armoires adjacentes,
- via des chemins de câbles supérieurs et inférieurs connectant toutes les armoires.

Deux paramètres peuvent influencer la propagation :

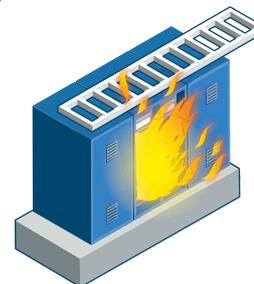
- le milieu environnant. Il peut être considéré comme ouvert – locaux de grande taille, combustion maximale – ou confiné – locaux de petite taille, combustion réduite.
- les câbles électriques. Ils sont peu ou bien qualifiés pour une tenue au feu, selon les normes qu'ils satisfont.

Les essais comportent trois étapes



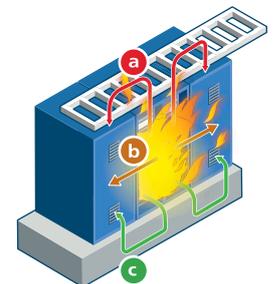
L'armoire centrale s'enflamme.

Une rampe à gaz initie l'inflammation à sa base.



L'armoire s'embrase.

Le feu atteint les chemins de câbles supérieurs.

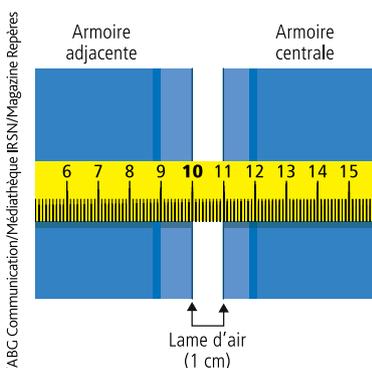


L'incendie se propage.

Trois chemins de propagation sont observés :

- a. via les chemins de câbles supérieurs
- b. via la double paroi, lame d'air
- c. via les chemins de câbles inférieurs

Les conclusions techniques serviront aux évaluations de sûreté



Un premier chemin est mis en évidence via la lame d'air séparant les armoires.

Dans les conditions des essais, il est observé lorsque la température de la paroi des armoires adjacentes dépasse 600 °C ou que le flux de chaleur incident dans ces armoires est supérieur à 26 kW/m².

Pour les câbles peu qualifiés, les modes de propagation via les chemins de câbles supérieurs et inférieurs sont aussi révélés.

Ces trois chemins sont mis en évidence quel que soit le milieu environnant étudié. Ce résultat remet en question une hypothèse stipulant l'absence de propagation du feu entre deux armoires électriques adjacentes séparées par une lame d'air.

FAITS ET PERSPECTIVES



Florent-Frédéric Vigroux, technicien, contrôle des commandes sur un dispositif d'étude des feux des câbles électriques. Au second plan, deux expérimentateurs vérifient le dispositif.

Concernant le risque incendie, comment le dossier de l'exploitant est-il expertisé ?

Pour expertiser sa représentation d'un incendie, nous vérifions ses calculs et modélisations. Dans le cas d'un départ de feu dans un local, il doit évaluer si celui-ci aggraverait des éléments ayant une fonction de sûreté : une vanne, des câbles, etc. Il recourt alors à des calculs de modélisation. Nous étudions si le code est adapté au problème posé : la vitesse de propagation est-elle correcte ? Les températures sont-elles pertinentes au regard du scénario examiné ? etc.

Utilisez-vous les résultats de Prisme ?

Les résultats expérimentaux – dont ceux du programme Prisme – nous aident notamment à déterminer comment modéliser les foyers de câbles ou d'armoire : quelle puissance de feu choisir, quels matériaux considérer, etc. Les données tirées d'essais physiques sont utiles. Les exploitants participent parfois à ces essais. Nous échangeons sur la façon de les employer, les critères à retenir, les réactions des différents équipements au flux thermique...

Quel exemple récent ?

En 2019, notre avis divergeait de celui d'EDF sur la problématique des feux d'armoires électriques. Quand l'une s'embrase, l'incendie se propage-t-il ou non aux armoires adjacentes et dans quelles conditions ? L'exploitant retient parmi ses critères la présence d'une lame d'air entre deux équipements d'une même rangée. Mais il ne quantifie pas cet écartement. Les essais de Prisme 3 abordent cette question (voir infographie p. 7).

Il s'avère que la propagation est possible malgré un écartement visible entre les deux armoires.

3 questions à...

Raphaël Meyrand

Chargé d'évaluation de la maîtrise des risques, spécialiste incendie et explosion à l'IRSN



© Coll privée

« Nous déterminons des vitesses de propagation deux à trois fois supérieures à celles classiquement utilisées dans les milieux académiques ou industriels », indique Jérémie Seguillon, ingénieur-chercheur en incendie. Ces différences peuvent affecter l'évaluation des conséquences de scénarios considérés dans les démonstrations de sûreté. Ces essais questionnent la suffisance des moyens mis en place par l'exploitant pour justifier la maîtrise du risque.

Toutes ces données alimentent les outils de simulation de l'IRSN et améliorent la fiabilité des résultats fournis comme l'étendue des situations envisagées. ■

1. Campagne S3, Smoke Stratification and Spread.
2. Campagne ECFS, Electrical Cabinet Fire Spread.
3. Campagne CFP, Cable Fire Propagation.
4. Ce guide fournit une méthodologie d'élaboration des analyses probabilistes des risques d'incendie dans les centrales nucléaires. Il date de 2005 et a été développé conjointement par un consortium d'industriels américains (EPRI) et l'Autorité de sûreté américaine (US NRC).
5. Scénario des conséquences les plus importantes, représentatif d'un ensemble de scénarios.

www Pour en savoir plus :
Le programme Prisme
www.irsn.fr/Programme-Prisme

WEBMAGAZINE



À LIRE
Des expériences
sur des câbles
électriques
www.irsn.fr/R52



Situé à la frontière franco-suisse, le grand collisionneur de hadrons (LHC) a un risque élevé de feu sur les câbles électriques.

© CERN/Brice Maximilien

AILLEURS

Le risque incendie au Cern

Le Conseil européen pour la recherche nucléaire (Cern) possède l'accélérateur de particules le plus puissant du monde, le grand collisionneur de hadrons, LHC. Pour desservir ses systèmes électroniques et électriques, environ 300 km d'échelles à câbles parcourent 80 km de souterrains. Les incendies électriques sont redoutés. « Il est crucial de savoir comment ils se développent dans un milieu confiné », observe Fabio Corsanego, ingénieur à l'unité centrale de sécurité. Des dispositifs de sécurité sont élaborés selon des principes

de sécurité incendie, validés par des programmes de recherche, tel Prisme 3, conduit par l'IRSN. « L'installation Diva de l'Institut [à Cadarache, voir webmagazine] simule un environnement similaire à celui du Cern : les espaces confinés et la ventilation limitée », illustre Oriol Rios, physicien, spécialiste en simulations dynamiques d'incendie. « Les données nous aident à développer des modèles plus précis. » Une collaboration entre le Cern et l'IRSN démarre. Les objectifs d'amélioration des connaissances sont communs.



La bille de tungstène a un diamètre de 15 μm .

C'est du billard

Un nouveau jeu est né : le billard microscopique ! À cette échelle, impossible d'utiliser une queue de billard ni même un cure-dent : seuls les écoulements d'air peuvent déplacer la « bille », une sphère de tungstène. Pour les scientifiques du Laboratoire de physique et métrologie des aérosols (LPMA), à Saclay (Essonnes), la difficulté est de trouver pour quelles vitesses d'air cette bille roule et se détache. Ils analysent les diverses forces physiques – aérodynamiques et d'adhésion – qui agissent sur les particules produites dans des réacteurs de

fusion nucléaire. En effet, les plasmas brûlant dans ces machines chauffent et percutent les matériaux constituant leurs entrailles. Il résulte de cette usure une production forte de particules microscopiques, estimée à plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines, de kilogrammes chaque année dans le réacteur expérimental Iter. Une telle quantité de poussières – potentiellement toxiques et radioactives – peut impacter la sûreté de l'installation, notamment lors d'un accident de perte de vide de type Lova (*Loss Of Vacuum Accident*). Des écoulements d'air violents

Samuel Peillon

Chercheur en physique des aérosols

remettent alors en suspension les poussières produites dans le tokamak. Cette machine, en forme d'anneau creux, est utilisée pour créer des réactions de fission nucléaire produisant de l'énergie. Combinée à la présence d'oxygène et de vapeur d'eau, cette situation peut devenir explosive. Les scientifiques étudient depuis plusieurs années les propriétés d'adhésion des poussières et leur comportement en présence d'écoulements d'air turbulents. Ces travaux sont mis à profit lors des expertises par l'IRSN des dossiers de démonstration de sûreté d'Iter. ■



En juillet 2022, le réseau de surveillance radiologique de l'air, **Téléray**, s'étoffe d'une nouvelle balise. Fruit d'une collaboration entre l'IRSN et la gendarmerie nationale, elle est installée sur le toit de la gendarmerie de Toussus-le-Noble (Yvelines). Les techniciens Martial Chevreuil et Vincent Rembowski (de gauche à droite) règlent le trépied de la nouvelle balise.

1 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ d'air

C'est le niveau de sensibilité des stations Opera, soit un millionième de l'activité mesurée en France, lors de l'accident de Tchernobyl en 1986.

Surveillance de l'air

La preuve par la mise à l'épreuve

Pour la surveillance radiologique de l'air, l'IRSN utilise deux réseaux complémentaires. Feux de forêt à Tchernobyl, sables du Sahara, guerre en Ukraine... les crises récentes en démontrent la précision et la flexibilité, indispensables pour renseigner les Français et éclairer les décisions des pouvoirs publics.

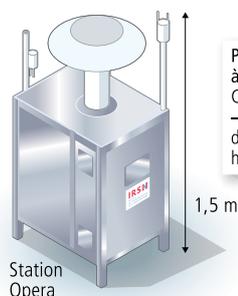
EN CLAIR

Surveillance de l'air : quelles évolutions ?

Deux réseaux de l'IRSN surveillent la qualité radiologique de l'air en France. Depuis 2014, le maillage s'est fortement resserré.

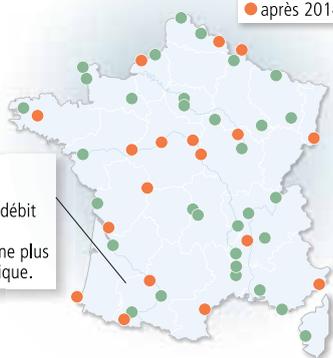
18 nouvelles stations Opera sont installées depuis 2014*

Elles collectent en continu des aérosols par filtration avec des débits allant de 80 à 900 m³/h. Les filtres sont ensuite analysés en laboratoire.



Pic du Midi de Bigorre, à 2 876 m d'altitude. Cette station à très haut débit – 900 m³/h – effectue des prélèvements dans une plus haute couche atmosphérique.

Implantation
● avant 2014
● après 2014

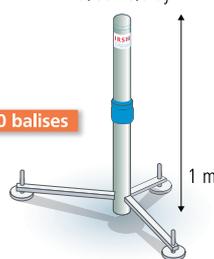


2022 : 52 stations, dont une à Tahiti

Le réseau Téléray s'étoffe avec plus de 120 nouvelles balises depuis 2014*

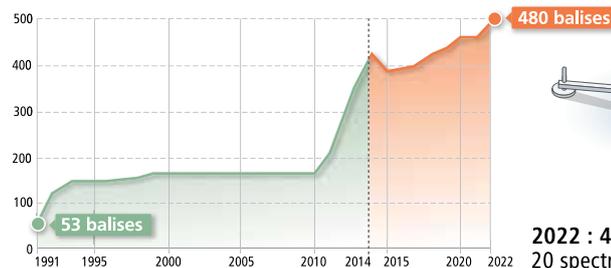
Elles mesurent en continu la radioactivité dans l'air et réagissent automatiquement en cas de contamination. Le réseau assure une surveillance des installations nucléaires du territoire et détecte tout événement provenant de l'étranger. Depuis fin 2019, il intègre des balises spectromètres gamma, aptes à identifier des radionucléides présents dans l'environnement.

Balise Téléray



2022 : 480 balises, dont 20 spectromètres gamma

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



* État au 11/11/2022

Source : IRSN

Avril 2020. La forêt s'embrase dans la zone d'exclusion de Tchernobyl. Ces feux, qui se produisent presque tous les ans, remettent en suspension des particules radioactives contenues dans les sols, comme du césium 137. La direction des vents menace de pousser l'air contaminé vers la France.

L'IRSN quantifie immédiatement le risque pour les populations. Cette expertise illustre le rôle de l'Institut dans la surveillance radiologique de l'air. Sur quoi repose-t-elle ? Comment fonctionne-t-elle ?

Repères fait le point, notamment en cas de pollution radiologique, et illustre des stratégies qui améliorent la qualité des résultats.

Précision et alerte

L'épisode des feux d'avril 2020 montre la grande efficacité de la surveillance. Grâce aux données météorologiques, les spécialistes de la radioactivité dans l'environnement déduisent quand et où les particules vont arriver en France. Le réseau Opera capture les particules en suspension afin qu'elles soient analysées en laboratoire. Les filtres de ses stations révèlent le rayonnement gamma émis par mètre cube d'air. Les résultats sont rassurants : ils dépassent à peine la radioactivité naturelle. « L'activité est de l'ordre du microbecquerel par mètre cube d'air ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$). Après l'accident de Tchernobyl, elle était un million de fois plus élevée », rappelle Philippe Renaud, spécialiste de la radioactivité dans l'environnement à Cadarache, dans les Bouches-du-Rhône.

Les scientifiques évaluent le risque pour la population basé sur l'inhalation des particules dans l'air et leur ingestion par consommation de denrées. La dose estimée est inférieure à un nanosievert (nSv), soit le millionième de la dose limite acceptée pour le public. L'IRSN informe les autorités et les médias.

La surveillance radiologique de l'air repose sur deux réseaux* complémentaires, Téléray et Opera (voir infographie p. 11). Le réseau Téléray sert à détecter



Martine Gauthier, technicienne au Laboratoire de télédétection et d'expertise environnementale, relève un filtre du préleveur Opera 80 du Vésinet (Yvelines).



Le 6 février 2021, des poussières de sable du Sahara, emportées par des vents, survolent la France et teintent de jaune l'atmosphère. Ici à Lyon.

“ Les réseaux de surveillance de la radioactivité dans l'air détectent de faibles variations de radioactivité.

rapidement toute élévation du rayonnement ambiant dans l'air. Ses 480 balises¹ couvrent le territoire, notamment à raison de dix à vingt autour de chaque installation nucléaire (lire p.16). Toutes les dix minutes, les mesures du débit de dose gamma sont transmises à la salle de télésurveillance au Vésinet (Yvelines).

Les quelque cinquante stations Opera échantillonnent, quant à elles, l'air en continu et mesurent la radioactivité des particules en suspension. Ce réseau décele des augmentations de la radioactivité bien plus faibles que le premier, mais pas en temps réel du fait des délais de l'échantillonnage et de la mesure. « Quarante stations aspirant 80 m³/h sont situées près des installations nucléaires », précise Magali Béguin-Leprieur, ingénieure au Laboratoire de surveillance de l'environnement par échantillonnage (LSE), au Vésinet. D'un débit supérieur – jusqu'à 900 m³/h –, les autres servent à détecter les infimes traces de radioactivité.

Des réseaux flexibles

L'épisode récent des sables du Sahara illustre la précision et la flexibilité du réseau Opera. En février 2021, le vent emporte des sables d'Afrique du Nord vers l'Hexagone, charriant du césium 137. L'IRSN priorise certains relevés et adapte les analyses (voir infographie ci-contre). « Une hausse transitoire de la teneur en césium 137 mesurée avec des stations Opera est bien représentative de cet événement », raconte Maxime Morin, spécialiste en mesures environnementales.

En cas de suspicion d'un incident sur une centrale impliquant de l'uranium ou du plutonium – émetteurs alpha –, une autre adaptation serait pratiquée.

20

partenaires de l'IRSN partagent leurs données de surveillance radiologique de l'air en Europe.

Des mesures de routine par la spectrométrie gamma seraient enrichies par d'autres spécifiques à ces éléments. Dans le cas d'un accident, le réseau Téléray adapterait son fonctionnement afin de mieux suivre l'évolution des niveaux de radioactivité. « La fréquence de télétransmission des mesures passerait d'une toutes les dix minutes à une toutes les trois minutes », détaille Romain Vidal, spécialiste de la surveillance de l'environnement, en charge du réseau.

Remonter à la source

En 2017, s'appuyant sur données de la surveillance de l'air à l'échelle européenne, l'IRSN développe une expertise capitale : l'identification de la source d'une contamination radiologique. En septembre de cette même année, les réseaux européens alertent : l'air contient des particules de ruthénium 106. D'où vient-il ?

Pour le découvrir, Olivier Saunier, expert en modélisation atmosphérique, développe la modélisation inverse. « Nous avons simulé plusieurs sources possibles et leurs dispersions atmosphériques respectives », décrit-il. Une des simulations coïncide avec les données de surveillance. Elle pointe une source probable : l'usine russe de retraitement du combustible Mayak, dans l'Oural. Un accident majeur est suspecté. « Selon nos calculs, l'émission devait être massive, constituant un événement de niveau cinq sur l'échelle Ines² », ajoute Olivier Saunier. Opera mesure quelques dizaines de µBq/m³ dans l'air dans l'extrême Sud-Est de la France : à La Seyne-sur-Mer et à Nice. En France, l'impact sanitaire est négligeable. L'IRSN vérifie désormais la source de chaque événement anormal à l'aide de ces codes de calcul.

Recouper les données

Coopération, soutien... l'invasion de l'Ukraine par la Russie illustre le rôle de l'Institut auprès de ses partenaires européens. À partir de mars 2022, la centrale nucléaire de Zaporijia est au cœur des combats.

EN CLAIR

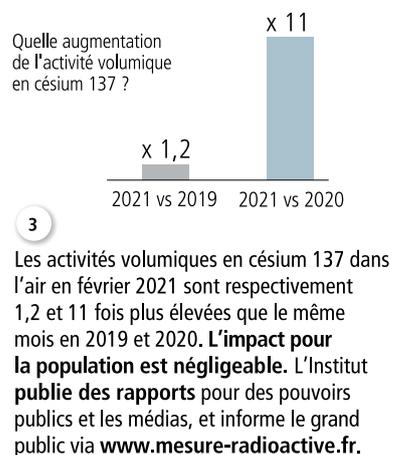
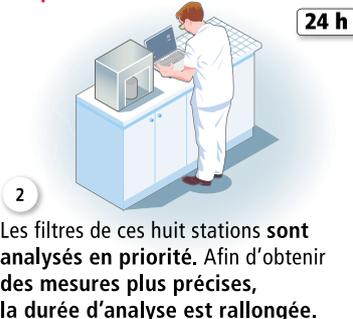
Pollution radioactive : comment s'adapte la surveillance de l'air ?

Février 2021. Le vent porte vers l'Hexagone des sables du Sahara contenant du césium 137, héritage des essais nucléaires aériens¹. Quel risque pour la population ? Le réseau de surveillance de l'air de l'IRSN, Opera², ajuste son fonctionnement.

En temps normal, la surveillance est continue



L'épisode saharien 2021 : en cas d'alerte, le réseau s'adapte



1. Essais effectués par les puissances nucléaires dans l'hémisphère nord.
2. Réseau de surveillance d'air composé de stations de collecte d'aérosols de divers débits.
3. Les stations sont sur les sites de l'IRSN ou des partenaires : EDF, Orano, instituts de recherche...

D'éventuels rejets pourraient atteindre l'Europe et la France. Les experts s'appuient sur les données de surveillance ukrainiennes. Mais elles sont contradictoires : certaines stations mesurent des pics de radioactivité, d'autres non. Une incohérence à éclaircir d'urgence. Les experts consultent les modèles météorologiques, se réfèrent aux mesures de pays voisins – Pologne, Hongrie, Roumanie –, et évaluent l'influence de la radioactivité naturelle. La difficulté est d'analyser vite et de manière fiable d'énormes masses de données de ces réseaux. Rapidement, le risque de rejets est écarté. Les données issues des réseaux sont publiques³, les informations transparentes et de qualité. Les scientifiques peuvent les exploiter, les pouvoirs publics en tenir compte pour prendre des décisions. Les citoyens, eux, peuvent les consulter pour se forger une opinion. L'excellence, l'indépendance, l'anticipation et le partage constituent les ambitions de l'IRSN depuis plusieurs années. Les récentes crises radiologiques illustrent la mise en œuvre de ces engagements. ■

1. Parc installé au 1/11/2022.
2. Échelle internationale de gravité des événements nucléaires et radiologiques, qui compte sept niveaux.
3. www.irsn.fr/Opera-air

www Pour en savoir plus :
Réseaux de surveillance de l'air en France*
<https://teleray.irsn.fr>
www.mesure-radioactive.fr
www-admin.irsn.fr/reseaux-prelevements

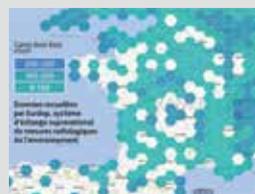
WEBMAGAZINE



À LIRE
Radioactivité dans l'air : évaluer les risques
www.irsn.fr/R34



INFOGRAPHIE
La surveillance de l'air autour de la centrale de Gravelines
www.irsn.fr/R34



À LIRE
La radioactivité mesurée en continu protège les individus
www.irsn.fr/R41

Une amélioration permanente

Des données recueillies en temps réel, des stations de collecte plus performantes, la qualité de filtres renforcée... les techniques de surveillance de l'air se perfectionnent.

Depuis le début de l'année 2022, les spécialistes communiquent à distance avec les stations Opera¹ – collecteurs des poussières atmosphériques – proches des installations nucléaires. Ils peuvent même les télépiloter. Chacune disposant d'un routeur, divers paramètres sont consultables. Par exemple, la chute soudaine du débit de la pompe, qui signale un probable colmatage du filtre, aide à anticiper son remplacement et évite l'arrêt automatique du préleveur.

Ces innovations illustrent les constantes améliorations du réseau de surveillance de l'air en France (*lire p. 11*).

Détecter des traces

En temps normal, les radionucléides dans l'air – notamment artificiels – sont à l'état de traces. Pour les détecter, il faut une filtration de l'air ambiant efficace et des mesures performantes des filtres en laboratoire. L'exemple du césium 137 est emblématique. Celui issu des essais nucléaires antérieurs à 1980 et de l'accident de Tchernobyl constitue un bruit de fond détectable dans l'atmosphère du fait de sa période radioactive longue. À cela, s'ajoute l'apport infime provenant du parc nucléaire, décelable uniquement au voisinage immédiat des centrales. Sa traque est donc complexe.

Pour détecter sa part ancienne, onze stations dites « bas niveau », placées hors zone d'influence des centrales, filtrent en continu 700 à 900 m³/h d'air. Des filtres en polypropylène² y piègent les particules provenant de 100 000 à 150 000 m³ d'air sur une semaine. « Ils sont peu sensibles au colmatage et à l'humidité, néanmoins faciles à compacter afin de pratiquer la mesure² », explique Magali Béguin-Leprieur, spécialiste du prélèvement des aérosols.

La mesure standard de ces filtres prend



Près de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice (Isère), la station Opera grand débit 330 m³/h utilisée pour l'étude radiologique du site.

trois jours. La concentration moyenne du bruit de fond en césium 137 dans l'air est d'environ 0,2 µBq/m³. Proche de la limite de détection de 0,1 µBq/m³, elle révèle surtout des dépôts anciens remis en suspension par l'érosion éolienne des sols, l'émission des pollens ou issus de la combustion de la biomasse (*lire p. 11*).

Pour réduire les délais de mesure, les spécialistes en analyse de signaux Paul Malfrat³, Anne de Vismes-Ott³ et Jérôme Bobin⁴ conçoivent en 2021 un algorithme. Cette méthode statistique décompose le spectre global en spectres individuels. Appelée « démixage spectral », elle détermine les radioéléments et leurs quantités respectives. À terme, son utilisation devrait diviser par deux le temps de détection.

Mesure différée et temps réel

En 2019, l'Institut évalue pour la première fois l'impact d'une installation nucléaire sur son environnement immédiat par la mesure des radionucléides dans l'air.

Une station mobile Opera est utilisée à l'occasion de cette étude radiologique de site, menée autour de la centrale iséroise de Saint-Alban Saint-Maurice (*voir webmag p. 15*). Placée à 1 km de la centrale pendant un an, la station fournit avec précision les

niveaux de césium 137. Verdict : les rejets atmosphériques de la centrale représentent environ un tiers du bruit de fond local très bas, soit 0,1 µBq/m³.

La détection du tritium atmosphérique – également à des teneurs très faibles – requiert aussi des dispositifs spécifiques.

Des données partagées

Quid de la surveillance en temps réel ?

Les compteurs proportionnels très sensibles des balises du réseau Téléray⁵ détectent de faibles élévations du niveau ambiant, de l'ordre de quelques nSv/h. Pour améliorer leur fonction d'alerte, il faut dissocier les pics d'origine naturelle et ceux dont l'origine serait artificielle. C'est ce que permet un nouveau type de balises de spectrométrie gamma⁶, en cours de déploiement depuis 2020 par le Laboratoire de télé-détection du Vésinet (Yvelines) (*voir infographie p. 11*). Grâce à des analyses plus riches, ces nouvelles balises, en plus de quantifier, identifient des radionucléides et abaissent le seuil d'alarme.

Des partenariats complètent et renforcent la surveillance atmosphérique. Depuis 2011, l'IRSN coopère avec l'Andra⁷ dans le cadre de l'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE), pour dresser l'état des concentrations

en radionucléides autour du futur centre de stockage profond de déchets radioactifs Cigéo (Meuse et Haute-Marne).

« Il s'agit de réunir des informations sur un maximum de radionucléides atmosphériques, dont les ultra-traces : tritium, plutonium, strontium, carbone 14 », détaille Olivier Masson, spécialiste de la surveillance atmosphérique. Cette collaboration vise à définir un bruit de fond national pour ces radionucléides, qui complètent ceux habituellement mesurés sur les autres stations Opera.

30 km autour des centrales

Pour renforcer la surveillance de l'atmosphère près des centrales, l'IRSN met les données de son réseau Télec en commun avec ceux des exploitants. Au total, mille balises de mesure du rayonnement gamma ambiant couvrent l'Hexagone, avec un maillage resserré dans un rayon de trente kilomètres autour de chaque centrale. Les données de surveillance sont collectées en temps réel. À la clé : la possibilité pour l'Institut d'être plus réactif en cas de rejet inhabituel.

La logique de partage s'étend à l'échelle européenne. L'Institut participe activement au réseau informel Ring of Five d'alerte et d'échange sur la détection de radionucléides à l'état de traces dans l'air (voir *webmag*). ■

1. L'Observatoire permanent de la radioactivité de l'air compte une cinquantaine de stations, dont une en Polynésie.
2. Ces filtres mesurent une cinquantaine de centimètres de côté. Pour l'analyse par spectrométrie gamma, ils sont compactés en une galette de 7 cm de diamètre.
3. Laboratoire de métrologie de la radioactivité de l'environnement (LMRE), Orsay (Essonne).
4. Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), Saclay (Essonne).
5. Réseau mesurant en temps réel le rayonnement gamma ambiant.
6. www.irsn.fr/IRSN-COP-2019-2023
7. Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.

AILLEURS

Factes

De multiples finalités



Le 15 avril 2019, le toit de Notre-Dame de Paris fond sous la force de l'incendie. Les filtres des stations Opera aident à cerner la contamination due au plomb volatilisé.

Prioritairement destinés à la surveillance de la radioactivité de l'air, les filtres Opera (*lire ci-contre*) peuvent avoir d'autres vocations. Une fois lus – la spectrométrie gamma est une mesure non destructive –, ils sont archivés dans une échantillothèque¹ au Vésinet (Yvelines). En 2019, certains sont utilisés pour la recherche de plomb.

Les 15 et 16 avril de cette même année, Notre-Dame de Paris est ravagée par les flammes. L'essentiel de la couverture en plomb du toit fond. Une partie est émise dans l'air, sous forme de vapeurs et de particules. « Agrégé à des aérosols, ce métal peut contaminer la population par inhalation », précise Gaël Le Roux, biogéochimiste au Laboratoire d'écologie fonctionnelle et environnement à Toulouse (Haute-Garonne). Des scientifiques du CNRS et de l'Université de Toulouse recourent à l'échantillothèque pour déterminer la part du plomb rejetée dans l'atmosphère. L'équipe toulousaine exploite les filtres de huit stations Opera potentiellement exposées au panache de l'incendie, à l'ouest

et au nord-ouest de Paris. Celle du Vésinet – située sur sa trajectoire – est déterminante. Disposant d'un très grand débit, son filtre est relevé quotidiennement. La station du Pic du Midi de Bigorre, à plus de 1 800 mètres d'altitude, sert de référence (*voir infographie p. 11*).

« Pendant l'incendie, la concentration en plomb atteint $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rapporte Gaël Le Roux. À partir du 16 avril, elle chute à $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sa teneur normale en région parisienne. » Une centaine de kilogrammes de métal se seraient volatilisés et auraient été transportés sur plusieurs dizaines de kilomètres, concluent les spécialistes². Cette estimation est conforme à celle obtenue par une modélisation de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris).

1. Elle contient 75 000 échantillons.
2. Article en révision pour la revue ACS Earth and Space Chemistry.

WEBMAGAZINE



INFOGRAPHIE

Le réseau Ring of Five suit les traces

www.irsn.fr/R25

WEBMAGAZINE



À LIRE
Étude radiologique de site Saint-Alban Saint-Maurice (Isère)

www.irsn.fr/R54



Photoreportage : ©Thierry Borredon/Signatures/IRSN

REPORTAGE Une nouvelle balise Téléray étoffe le réseau de surveillance radiologique de l'air. Repères assiste à son installation dans les Yvelines, près de Saclay, le fruit d'une collaboration avec la gendarmerie nationale.

Surveillance de l'air

Un nouveau point de mesure



Sur le toit de la gendarmerie de Toussus-le-Noble (Yvelines), Martial Chevreuil et Benjamin Foissard, techniciens à l'IRSN, assemblent le trépied d'une balise Téléray. L'horizon est dégagé, les conditions optimales pour effectuer des mesures de qualité. Aux côtés des spécialistes du Laboratoire de télédétection, deux agents de la section opérationnelle de lutte contre les cybermenaces (SOLC) de la gendarmerie nationale – Vincent Rembowski et Laurent Chaumont – participent à l'installation de ce nouveau point de surveillance. L'opération vise à étoffer le réseau national Téléray, qui mesure en continu la radioactivité dans l'environnement. Il détecte en temps réel tout événement radiologique anormal et déclenche une alerte. Début novembre 2022, le réseau compte 480 balises (voir infographie p. 11).

« Celle-ci complète la surveillance du site de Saclay du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives [CEA] et de la région parisienne, clarifie Martial Chevreuil. Cette dernière génération de balises équipe déjà les sites nucléaires les plus sensibles. Le déploiement s'étend désormais vers d'autres sites d'intérêt. »

La collaboration avec la gendarmerie est indispensable. « Les balises sont dans des lieux sécurisés et doivent disposer d'un réseau de transmission robuste. La gendarmerie nationale garantit de telles conditions », justifie Vincent Rembowski. Attentif, le militaire assiste avec son collègue au protocole d'installation. Après cette formation, ils disposeront six autres balises sur les toits de gendarmeries des Yvelines.

Une fois en service, le détecteur transmet toutes les dix minutes ses données. L'Institut les rapatrie en continu. Après analyse et validation, elles sont accessibles à tous en temps réel*. Déjà, l'ordinateur de contrôle affiche sa première valeur : 78 nanosieverts. La mesure est cohérente : c'est le niveau moyen de radioactivité naturelle en Île-de-France. « Ça tourne ! », se félicite Vincent Rembowski. Martial Chevreuil et Benjamin Foissard rangent leur matériel, direction le laboratoire : « Nous exploitons et analysons les données, explique le premier. Quand on a pour mission d'entretenir les balises du réseau Téléray, on ne s'ennuie jamais ! » ■

* <https://teleray.irsn.fr>

1 Les techniciens de l'IRSN, Benjamin Foissard et Martial Chevreuil, et ceux de la gendarmerie nationale Vincent Rembowski et Laurent Chaumont (de gauche à droite) assemblent le trépied de la balise Téléray, sur le toit de la gendarmerie de Toussus-le-Noble (Yvelines).

2 La balise est connectée à un câble FTP, protocole de transfert de fichier, comme un équipement réseau classique.

3 L'horizon dégagé du site assure un champ de mesure optimal. La balise mesure le rayonnement gamma ambiant. Son tube est rempli d'un gaz inerte dans lequel circule un courant électrique. La balise mesure la perturbation de ce dernier à chaque traversée de photon chargé caractéristique du rayonnement gamma.

4 Dans la gendarmerie, Martial Chevreuil, à gauche, présente l'interface de la balise Téléray et la configuration. Dès son installation, la balise démarre une acquisition.

■ BIBLIOGRAPHIE

Le réseau Téléray
<https://teleray.irsn.fr>

Le réseau Opera
www.irsn.fr/Opera-air

Le réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement
www.mesure-radioactivite.fr/

Le bruit de fond des radionucléides artificiels dans l'environnement français métropolitain - Bilan des constats radiologiques régionaux
www.irsn.fr/bruit-fond-bilan-radiologique

Étude radiologique de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil
www.irsn.fr/ERS-saint-alban



Les isotopes radioactifs produits par ce cyclotron sont utilisés en diagnostic médical pour localiser les cellules cancéreuses.

L'examen tomographique de la tête nécessite l'utilisation d'un médicament radiopharmaceutique.

Rejets radioactifs dans l'environnement

Évaluer l'impact d'un cyclotron

L'ESSENTIEL Les cyclotrons produisent des radionucléides pour la médecine nucléaire. Pour obtenir une autorisation de rejets radioactifs dans l'environnement, les exploitants calculent les doses potentiellement reçues par la population. Un rapport de l'IRSN les aide à réaliser leur étude d'impact radiologique. **TÉMOIGNAGE** Un chef d'activité nucléaire dans l'industrie. **DÉCRYPTAGE** Comment évaluer l'impact d'un cyclotron ? **AVIS D'EXPERT** Un spécialiste en radioprotection.



Guillaume Andreolety

Chef d'activité nucléaire
chez Advanced Accelerator
Applications (AAA), Novartis

TÉMOIGNAGE "L'étude d'impact est plus réaliste grâce au guide"

“**N**otre laboratoire fabrique des radioligands pour des traitements en oncologie. Ces molécules marquées avec un isotope radioactif servent au diagnostic. Ce processus rejette parfois des effluents radioactifs gazeux dans l'atmosphère, surtout du fluor 18. Le site de production est muni de dispositifs de filtration et de piégeage. Pour garantir la maîtrise du process, la traçabilité et l'archivage des données, des mesures sont réalisées en continu, toute l'année. Nous optimisons nos process en permanence pour baisser les rejets, par exemple en améliorant le rendement des synthèses.

En tant qu'exploitant, nous devons réaliser une évaluation quantifiée de l'impact sur la population, calculer les doses potentiellement reçues par les personnes vivant près du site.

Le rapport méthodologique que propose l'IRSN aide à réaliser ces études d'impact (EI). Jusqu'alors, nous prenions beaucoup de marges de sécurité,

en retenant les scénarios les plus pénalisants. Par exemple, nous utilisons les prévisions météorologiques les plus défavorables toute l'année, ce qui maximisait l'impact.

Justesse et justification

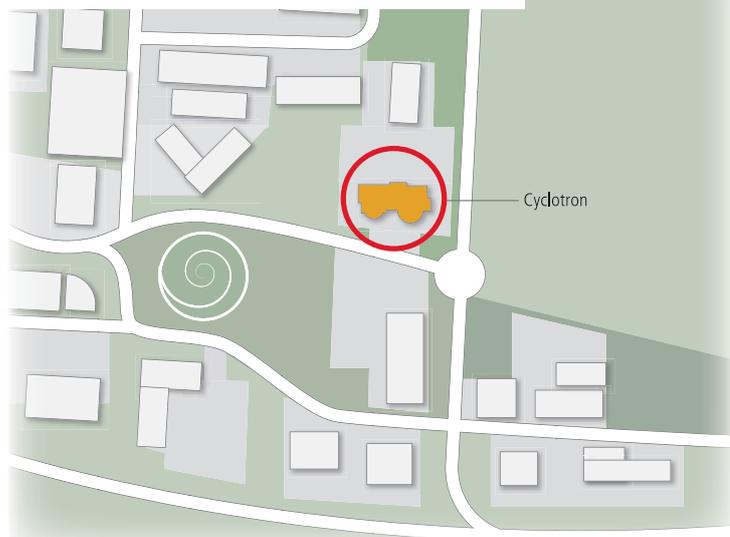
Le rapport recommande une estimation plus réaliste. Nous avons travaillé sur la modélisation 3D de l'urbanisation environnante, afin d'avoir des calculs plus performants. En 2022, notre EI, utilisant des données météorologiques réalistes et les vraies plages de production, révèle que nous avions au préalable majoré notre impact d'un facteur 70.

Le document nous aide à justifier nos modèles et nos hypothèses. Par exemple : pourquoi ne pas prendre en compte les voies de transfert dans les sols et les végétaux ? Parce que la demi-vie du fluor 18 est de 108 minutes, donc l'impact est négligeable, voire nul. ■

Comment évaluer l'impact d'un cyclotron ?

Les cyclotrons produisent pour la courte. Ces installations sont souvent près des hôpitaux. Les exploitants radioactifs et réaliser une étude

Ce cyclotron basé dans le Sud de la France produit des radionucléides destinés à la fabrication de **médicaments radiopharmaceutiques**. Ils sont par exemple utilisés pour diagnostiquer ou traiter des cancers. Le cyclotron détient une **autorisation d'exercer une activité nucléaire**.



Le cyclotron fabrique du fluor 18 pour la médecine nucléaire. Cet élément radioactif a une demi-vie de moins de deux heures. Depuis 2020, l'industriel **augmente sa capacité** de production et **renforce** ses systèmes de limitation des rejets : filtration et compression d'air. Il est implanté dans une **zone périurbaine en développement**.

L'exploitant de ce cyclotron souhaite encore augmenter sa capacité de production. Il doit **réaliser une nouvelle étude d'impact (EI)** pour **renouveler la demande d'autorisation** de rejets et déposer un dossier auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

1 Quel est le terme source ?

L'exploitant **estime la quantité annuelle de radionucléides (terme source, TS)** rejetée par son installation. Il se base sur ses productions passées, les mesures réalisées à la cheminée, l'estimation de sa production sur les cinq prochaines années, les nouvelles mesures de limitation des rejets mises en place. Ici, il est estimé à 100 GBq/an.

2 Quel est le transfert dans l'environnement ?

Pour évaluer la **dispersion de la masse d'air**, l'industriel recourt à une modélisation. Elle prend en compte des **données météorologiques** locales – vitesse, direction des vents, pluviométrie – et les **obstacles**, tels les bâtiments. Ici, en moyenne sur une année de fonctionnement continu, la **concentration de radioactivité** dans l'atmosphère est estimée à **1 Bq/m³**. Sa quantité déposée au sol à **10 Bq/m²**.

3 Quelle exposition de la population ?

L'exploitant identifie, dans l'environnement réel de son installation, **les personnes concernées** – enfants, adultes, travailleurs –, leur activité et le lieu dans lequel elles évoluent. Ces paramètres influencent leur temps de présence à proximité du cyclotron et la quantité d'air respirée. Il **applique des coefficients de dose¹** issus de la littérature. Ici les calculs montrent que **la population autour du site n'est pas exposée au-delà de 1 mSv/an²**.

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



Emballage de transport d'un flacon contenant une source d'iode radioactive.

© Olivier Seignette/Mihaël Lafontan/Médiathèque IRSN

UNE MISE À JOUR NÉCESSAIRE

L'IRSN expertise les études d'impact (EI) des cyclotrons depuis 2015. Pour estimer leur impact sur l'environnement et la population, les exploitants utilisaient parfois des **modèles inadaptés** (lire p. 17). Les résultats fortement entachés d'incertitudes sont associés à des **demandes élevées de limites de rejets**. En 2016 et 2017, des **avis de l'IRSN alertent** sur cette situation. L'ASN demande des **misés à jour des EI avec une modélisation plus réaliste**. L'IRSN expertise depuis les EI actualisées et réalise des contre-calculs.

RAPPORT MÉTHODOLOGIQUE

Pour aider les exploitants, l'IRSN met à disposition un document comportant les éléments **méthodologiques pour l'élaboration de l'EI radiologique d'un cyclotron sur les populations**. Il rappelle le **cadre réglementaire** et précise les principales **étapes de la modélisation** de l'impact.

AVIS D'EXPERT



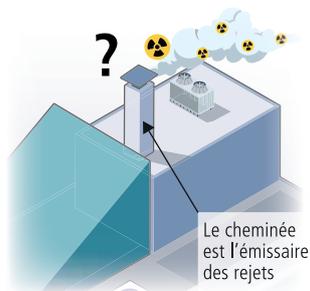
Thomas Geoffray

Expert des risques radiologiques et nucléaires

Le bâti doit être pris en compte

Deux familles de modèles déterminent la dispersion des rejets des cyclotrons. Si ces derniers sont dans une zone non urbanisée et loin de reliefs, les exploitants peuvent utiliser des modèles gaussiens. Ils prennent en compte des données météorologiques locales annuelles – vitesse, direction des vents, pluviométrie – et des données simples sur la stabilité de l'atmosphère. Ils sont valides au-delà d'un rayon de cent mètres autour d'une installation, en l'absence de bâtiments. Mais ils ne sont pas adaptés pour des cyclotrons situés en zone urbaine ou périurbaine et pour des distances inférieures à cent mètres. Les bâtiments créent des turbulences dans l'atmosphère, qui diluent le panache. Des zones de recirculations peuvent être créées localement, derrière un bâtiment, et reconcentrer la pollution. Une autre famille de modèles prend en compte de manière explicite le bâti et les populations présents à moins de cent mètres des installations. Plus complexes et plus réalistes, ils sont basés sur la mécanique des fluides. Ils simulent les champs de vent à trois dimensions, en intégrant la présence des constructions.

médecine nucléaire des radionucléides à la demi-vie ent implantées en zone urbaine ou périurbaine, doivent obtenir une autorisation pour leurs rejets d'impact. Quelles sont les étapes à suivre ?



Le cheminée est l'émissaire des rejets

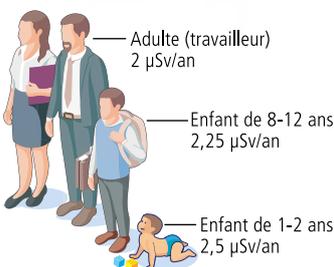
Les enjeux majeurs sont l'identification et la quantification des radionucléides rejetés. Des éléments à vie courte peuvent être libérés en plus du fluor 18. Les systèmes de mesure ne discriminent pas les radionucléides et ne déterminent pas en temps réel ceux qui sont émis.

IRSN - Les experts émettent un avis sur le TS. Des calculs complémentaires peuvent être réalisés afin de s'assurer qu'il n'est pas sous-évalué.



L'implantation en zone urbaine ou périurbaine peut nécessiter le recours à des modèles basés sur la mécanique des fluides prenant en compte les bâtiments proches.

IRSN - Les experts analysent les hypothèses de l'exploitant et leurs justifications. Des calculs de dispersion atmosphérique peuvent être effectués avec divers modèles afin de valider les ordres de grandeur d'activité volumique et d'activité déposée dans les lieux de vie ou de travail.



Adulte (travailleur) 2 µSv/an

Enfant de 8-12 ans 2,25 µSv/an

Enfant de 1-2 ans 2,5 µSv/an

L'environnement de ces installations est le plus souvent composé de zones d'activité et de zone habitation de densité variables situées à quelques dizaines de mètres.

IRSN - Les experts évaluent les scénarios d'exposition et appliquent les hypothèses – coefficients de dose, budget temps, débit respiratoire... – qu'ils jugent les plus pertinents. Ils valident l'ordre de grandeur de l'impact.

Les cyclotrons présentent des enjeux de radioprotection. En utilisant des hypothèses plus réalistes, des modèles et des méthodes plus adaptés, l'exploitant produit une estimation cohérente de l'exposition des populations.

1. Dose intégrée par une personne en fonction de l'activité volumique qu'elle respire.
2. Limite autorisée de l'exposition ajoutée liée à une installation.

DES REJETS MIEUX MAÎTRISÉS

Depuis quelques années, les dispositifs des exploitants pour limiter les rejets s'homogénéisent. Différents types de filtres sont utilisés pour retenir les particules et piéger certains gaz comme le fluor. À cela s'ajoutent des systèmes qui retardent leur rejet. La décroissance radioactive des radionucléides à vie courte abaisse ainsi l'activité avant rejet. La surveillance s'améliore : des sondes placées à différents étages de la cheminée mesurent en continu la radioactivité libérée.

CONTACTS

Thomas Geoffray, Bureau d'expertise en radioprotection de la population
thomas.geoffray@irsn.fr

POUR ALLER PLUS LOIN

Rapport 2022-00193 : Éléments méthodologiques pour l'élaboration de l'étude d'impact radiologique d'une installation cyclotron



Thomas Geoffray
01 58 35 78 27
thomas.geoffray@irsn.fr

Les lycéens mesurent les enjeux de la radioprotection

Ils sont moldaves, corses, doubiens...

Quatre-vingts élèves et leurs enseignants participent aux Rencontres internationales lycéennes de la radioprotection à Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine). Ils nous racontent ce qu'ils ont appris et retenu.

1 Quel est le principe des Rencontres ?

Un jeune homme s'accroupit et glisse au doigt de sa partenaire une bague dosimètre. Cette saynète se déroule le 24 mai 2022, lors des Rencontres internationales lycéennes de la radioprotection. Elle attire une petite foule vers l'atelier des élèves du lycée Notre-Dame de Boulogne-Billancourt (Hauts-de-Seine). Son originalité est d'aborder de façon ludique la radioprotection, sujet sur lequel planchent depuis plusieurs mois les quatre-vingts participants à cette manifestation, qu'ils soient français, japonais ou moldaves. Aux quatre coins du monde, le projet se déroule de façon similaire : en début d'année, les jeunes volontaires choisissent un sujet lié à la radioactivité. Guidés par les enseignants, avec le soutien d'experts et de chercheurs, ils mènent

des recherches bibliographiques, réalisent des mesures, questionnent des professionnels – vétérinaires, chercheurs –, visitent laboratoires et installations. Ces 23 et 24 mai, ils sont réunis – en visio pour les Japonais – à Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine), au siège de l'IRSN¹. Ils partagent les conclusions de leurs travaux sous forme d'ateliers et d'un oral devant un parterre composé de leurs pairs et de scientifiques.

¹ Co-organisateur avec le Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire (CEPN), l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives-Institut national des sciences et techniques nucléaires (CEA-INSTN), le Pavillon des sciences de Bourgogne-Franche-Comté et la Société française de radioprotection (SFRP).



Les jeunes Moldaves participent aux rencontres lycéennes depuis 2013. En 2022, ils s'intéressent au radon.



La bague dosimètre est le thème d'une des présentations.

2 Pourquoi s'intéresser à la radioprotection ?

La vie à Fukushima, la radioactivité marine, le radon dans les puits...

Les thèmes abordés vont de la radioprotection à la mesure.

L'attrait pour les sciences est la première motivation des jeunes participants.

Un élève de Fontainebleau (Seine-et-Marne), qui envisage des études en biologie, s'intéresse au cancer chez la femme enceinte. Le côté « dramatique » du sujet – « être enceinte et avoir un cancer » – attire vers le même projet une de ses camarades du lycée Saint-Aspais. Le thème captive aussi une lycéenne moldave :

« Cela nous a amenés à étudier le radon. » Passionnée de sciences, mais pas sûre d'en faire son métier, une élève de Cherbourg-en-Cotentin (Manche) s'est engagée dans le projet pour « venir à l'IRSN et parler aux chercheurs ».

Les ateliers foisonnent de futurs médecins, vétérinaires, physiciens...

Quelques profils littéraires sont aussi présents. Ils veulent élargir leurs horizons.

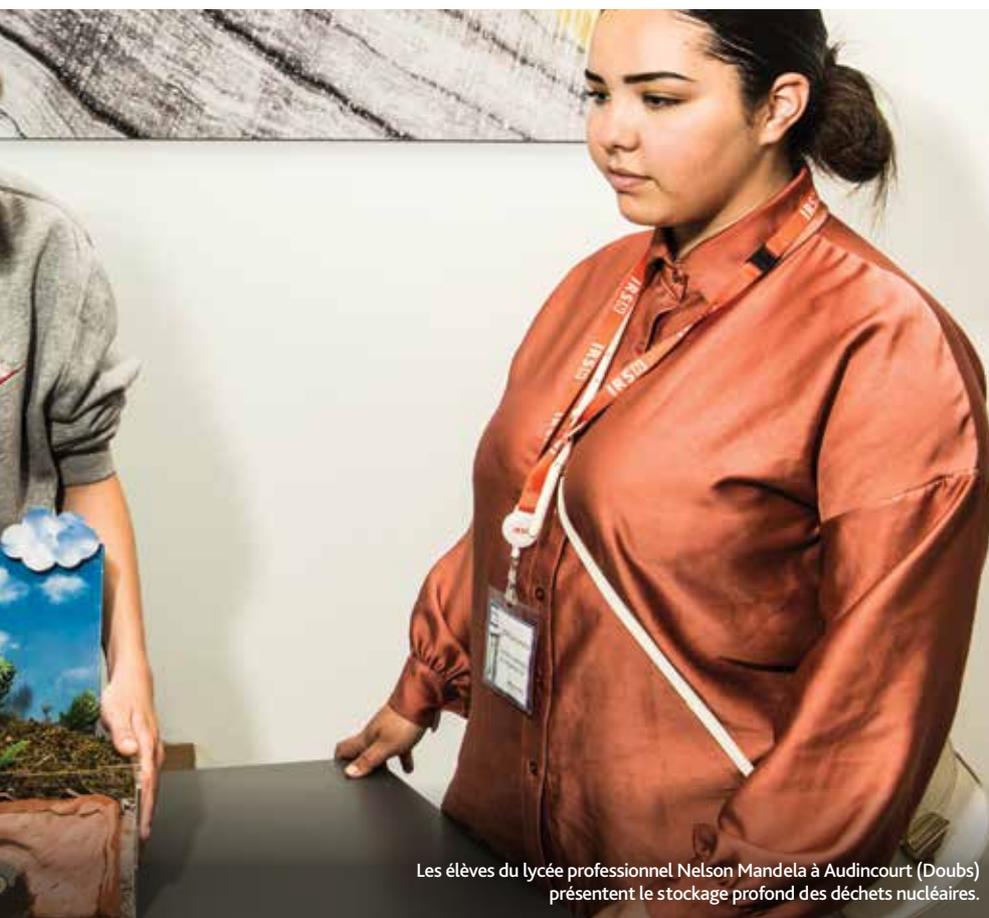
3 Qu'apprennent les lycéens ?

« Je réalise que la radioactivité est partout, dans la mer, les moules, la vase... », retient un élève impressionné par le travail réalisé par les jeunes d'un lycée de Bastia (Haute-Corse), qui intègre de la mesure en mer. La même approche retient l'attention des jeunes Moldaves, qui ont aussi fait des relevés dans l'environnement. Au cours de leur projet, les futurs bacheliers de Boulogne-Billancourt rencontrent un vétérinaire. Ils découvrent

qu'il est possible de prendre des radios des animaux à même le champ, tout en ajustant la dose de radioactivité délivrée. Des visites de laboratoires proposées par les structures organisatrices ancrent les savoirs et marquent les esprits. La fabrication des dosimètres à l'Institut enthousiasme l'une des élèves. « Nous avons suivi le protocole de lecture, vu comment la dose réagit selon qu'elle est prise en continu ou d'un coup... », relate-t-elle.



Zinaida Virlan, professeure de français en Moldavie, accompagne ses élèves.



Les élèves du lycée professionnel Nelson Mandela à Audincourt (Doubs) présentent le stockage profond des déchets nucléaires.

4 Quels souvenirs gardent-ils du projet ?

La descente à cinq cents mètres sous terre en sept minutes reste gravée dans les mémoires de participantes d'un lycée d'Audincourt (Doubs). Grâce à un ascenseur spécial, elles descendent dans la galerie du futur site d'enfouissement profond des déchets – Cigéo –, situé dans la Meuse. « On n'imaginait pas que c'était aussi compliqué, confient-elles. C'est bien d'être informé. » Les deux jours de rencontres sont l'occasion de faire connaissance. Les exposés sont une bonne expérience pour appréhender l'oral, même s'ils stressent quelques participants. Six visites d'installations² de l'IRSN et du CEA complètent le programme de la manifestation. Les lycéens découvrent les « fantômes » – simulacres physiques utilisés en médecine nucléaire –, testent par eux-mêmes la présence de calcite dans la roche du futur stockage Cigéo... Une élève s'étonne : « C'est inattendu de voir que, déjà à notre âge, on peut s'intéresser à de tels sujets. »

Reportage photo : © Joanna Tarlet Gautéur / Signatures / Médiathèque IRSN

2. IRSN : accélérateur linéaire Alphée, centre technique de crise, plateforme expérimentale Lutèce. CEA : première pile atomique Zoé.

5 Quels bilans pour les enseignants ?

Gisèle Aubertin et Claude Meunier sont professeures dans un lycée professionnel du Doubs, un fidèle des Rencontres depuis 2015. Chaque année, elles voient leurs élèves s'épanouir, même si « parler dans un amphithéâtre est un défi pour eux ». Zinaida Virlan enseigne le français au lycée Prometeu-Protalent de Chisinau (Moldavie). Elle estime que depuis Tchernobyl, la radioprotection doit être connue pour mieux se protéger. Comme la Moldavie n'est pas un pays nucléarisé, il est enrichissant pour les élèves de voir

ce qui se fait en France et au Japon. « Je fais des mesures pour qu'ils appréhendent les rayonnements », précise Samuel Lepicard, enseignant à Fontainebleau. Pour lui, le projet est une fenêtre sur le monde du travail et de la recherche. Les professeures corses Véronique Maroselli et Myriam Ferrari trouvent néanmoins dans le projet l'opportunité d'exploiter un raisonnement scientifique avec leurs élèves. « Aux Rencontres, ils récoltent les fruits de leur travail, concluent-elles. Ils sont ravis, c'est la meilleure récompense. »



Un lycée de Fontainebleau rejoint la manifestation en 2021.

Accident radiologique

Trier des victimes grâce aux analyses

Après un accident radiologique, le tri des victimes doit être rapide. Un nouveau protocole est utilisé pour analyser plusieurs centaines d'échantillons de sang en un temps réduit. Visite au Laboratoire de radiobiologie des expositions accidentelles (LRACC), dans les Hauts-de-Seine.

Un accident radiologique fictif vient de se produire. Ce 24 juin 2022 à Fontenay-aux-Roses dans les Hauts-de-Seine, le Laboratoire de radiobiologie des expositions accidentelles (LRACC) réceptionne les échantillons de sang de victimes potentiellement irradiés. Huit techniciens et chercheurs sont à pied d'œuvre. Il faut aider les médecins à prioriser et orienter les prises en charge. L'occasion de tester un protocole de crise développé depuis deux ans pour analyser jusqu'à 320 échantillons en dix jours. L'objectif est de fonctionner en mode réflexe, tout en minimisant le risque d'erreur.

Deux laboratoires équipés de quatre postes de sécurité microbiologique sont dédiés à la manipulation des échantillons sanguins. Un autre, doté de quatre enceintes chimiques ventilées et huit paillasse expérimentales, prépare les lames pour la microscopie.

Chromosomes : dégâts analysés

Rapidement, les tubes de sang sont déballés et étiquetés. Ce suivi strict garantit la traçabilité des résultats.

Dans une chorégraphie minutieuse, chacun récupère son matériel et rejoint son poste de travail. Quatre binômes enchaînent les huit étapes de traitement des échantillons, depuis leur réception jusqu'à leur classification en niveau de gravité. « Éviter de se marcher sur les pieds est essentiel pour la qualité des opérations », sourit Pascale Fernandez, spécialiste en dosimétrie et technicienne référente, en s'installant devant une paillasse garnie de réactifs préparés en amont. « Ils sont pré-dosés, des "fiches-réflexes" stipulent les quantités à utiliser à chaque étape pour éviter les calculs dans l'urgence, pouvant être source d'erreur, détaille-t-elle. Toutes les machines sont pré-calibrées afin d'être opérationnelles le jour J : incubateur à 37 °C, centrifugeuses, etc. »

Les échantillons sont placés dans un milieu de culture pendant deux jours. L'objectif est de stimuler la croissance des lymphocytes. Ces cellules sanguines jouent un rôle majeur dans le système immunitaire et le test repose sur l'évaluation des dégâts engendrés par les radiations sur leur matériel génétique.

Cinq niveaux de gravité

Trois jours plus tard, l'analyse débute. La technicienne répartit quelques gouttes de solution contenant des cellules apprêtées pour l'analyse sur des lames de verre. Elle les glisse par huit sous un microscope automatique de pointe, fonctionnant à la lumière transmise et équipé d'un support de lame motorisé. « Notre laboratoire en compte quatre, ce qui confère une capacité d'analyse unique en France », se félicite la spécialiste.

Trente-deux lames sont analysées quotidiennement pendant dix jours.

L'obtention des résultats est semi-automatique. Un logiciel décrypte les images provenant du microscope. Il identifie les chromosomes et leurs éventuelles aberrations, des cassures, suivies éventuellement de recombinaisons anormales.

« Chaque détection automatique est vérifiée par un technicien qualifié », précise Pascale Fernandez. À terme, le laboratoire améliorera la fiabilité et la rapidité grâce à l'intelligence artificielle (IA). C'est l'objectif du projet Increased, mené avec l'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (Inria). Des images d'aberrations chromosomiques accumulées par le laboratoire serviront à entraîner un nouveau logiciel basé sur l'IA. De quoi mettre à profit vingt ans d'expertise et de recherche en dosimétrie biologique. « Notre base de données est l'une des plus fournies au monde. Elle contient plus de 80 000 images annotées par des experts ! »



Techniciens et chercheurs suivent un protocole préétabli. Chaque binôme analyse les échantillons de sang de victimes fictivement irradiées, qui affluent au laboratoire.

À l'issue de ces analyses, le niveau de l'irradiation est déduit du nombre d'aberrations chromosomiques relevé pour un nombre donné de lymphocytes.

Les patients sont classés en cinq catégories de gravité croissante : sans risque vital immédiat, risque léger, modéré, sévère, très sévère. « Cette démarche oriente leur traitement. Elle est très utile, notamment en absence de symptôme immédiatement visible, comme des lésions cutanées ou des vomissements », souligne la spécialiste.

Le prochain exercice réel aura lieu en 2023 et visera la prise en charge simultanée de 160 échantillons. ■



Les échantillons sont mis en culture

Bruno Lhomme, technicien au LRACC, place des échantillons de sang dans un milieu de culture *ad hoc*. L'opération favorise la croissance des lymphocytes, en vue de l'analyse de leur matériel génétique. Les échantillons sont ensuite placés dans un incubateur qui les maintient à 37 °C pendant 46 heures.



Les cellules sanguines sont fixées

À la sortie de l'incubateur, Juan Martinez, chercheur, ajoute à l'échantillon un cocktail de réactifs chimiques pour éliminer les impuretés du milieu réactionnel et « fixer » les chromosomes. Ceci assure un bon espacement entre eux et optimise leur visibilité ultérieure au microscope.



Les lames sont préparées

Après l'étalement sur lame de microscopie de la solution enrichie en lymphocytes, il faut procéder à la coloration des chromosomes. Ne pouvant être conservés, les échantillons sont traités immédiatement. Seules les lames et les images de microscopie sont archivées. Éric Grégoire, chercheur, archive les lames.

Reportage photo : © Sylvain Renard / Médiathèque IRSN



L'analyse peut débuter

Les techniciens vérifient les aberrations chromosomiques repérées par un logiciel de traitement d'images. Leur nombre renseigne sur la dose de radiation reçue. Chaque expert du laboratoire passe, une fois par an, un test certifiant sa capacité à repérer ces anomalies. Les cinq catégories de résultats – sans risque vital immédiat, risque léger, modéré, sévère, très sévère – guident les médecins.

Dans l'intimité des chromosomes

L'analyse de cet échantillon de sang révèle un chromosome dicentrique – ayant deux centres –, une structure anormale résultant d'un événement de réparation erronée de l'ADN. Les analyses peuvent révéler d'autres défauts : anneau – extrémités fusionnées – ou fragment chromosomique.



PCR

Formez-vous auprès d'experts

Médecin, industriel... vous utilisez des rayonnements ionisants et devez vous former à la fonction de conseiller en radioprotection ?

L'IRSN vous propose une formation certifiée. Au plus près de la réglementation, elle est adaptée aux risques que vous rencontrez : secteur médical ou industriel, option sources naturelles, scellées et non scellées. Une trentaine d'experts de l'Institut – spécialistes des appareils de mesure, du radon, du risque, de la réglementation, ingénieurs sécurité environnement, physiciens, médecins... – vous transmettent rigueur réglementaire et capacité opérationnelle.

Contactez-nous

formationsfrance@irsn.fr
Calendrier des sessions 2022
www.irsn.fr/Formation-web



IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE