



Des expositions chroniques à la loupe p. 10



La recherche se structure à l'échelle européenne

Tout être vivant est exposé à la radioactivité naturelle, et parfois artificielle. Les doses de rayonnements sont très faibles, mais absorbées régulièrement durant des dizaines d'années. Évaluer les effets de cette exposition chronique relève d'un processus très complexe. C'est pourtant essentiel pour adapter au mieux les politiques de prévention et de protection des populations exposées. D'où le lancement de nouveaux programmes de recherche, ces dernières années, notamment au sein de l'IRSN.

Où en est

la **recherche**  
sur les effets sanitaires  
des **faibles doses**

En couverture : Une manipulatrice à l'hôpital européen Georges-Pompidou (Paris) prépare un patient à passer une scintigraphie, technique d'exploration médicale par l'administration au préalable d'un produit radioactif. Crédit photo : Noak/Le bar Floréal/IRSN



**Des travailleurs dans les mines d'uranium de Lodève (Hérault), en 1990.**

Pitchai/Sipa

## Mieux comprendre les faibles doses

**Exposition.** Lorsque les doses de rayonnements sont inférieures à 100 millisieverts, on parle de faibles doses. Mise au point sur le sujet.

### Quand est-on exposé à de faibles doses ?

Il existe de nombreuses sources d'exposition à la radioactivité. Naturelle, provenant par exemple du granite qui contient d'infimes traces d'uranium, lequel, en se désintégrant, produit du radon, un gaz radioactif qui émane de la roche et se retrouve naturellement présent dans notre atmosphère. D'autres sources sont artificielles. Ainsi des travailleurs du nucléaire ou encore des professionnels de santé sont-ils exposés. Tout comme une personne se prêtant à des examens d'imagerie médicale, comme une radiographie ou un scanner.

### D'où vient ce chiffre de 100 mSv (millisieverts) ?

Les études épidémiologiques menées pendant plus de soixante ans sur près de 90 000 survivants des bombardements d'Hiroshima et Nagasaki ont montré avec certitude que le risque de cancers augmente chez les personnes ayant reçu une dose de rayonnements ionisants supérieure à 100 mSv de manière significative. On a aussi évalué l'effet déterministe (brûlures...) qui s'observe lors d'une irradiation massive et de courte durée. En revanche, en deçà de 100 mSv, les études n'ont pas établi de façon indiscutable l'existence d'une relation entre dose de rayonnements et risque de cancers ou maladies non cancéreuses notamment en raison des incertitudes qu'accompagnent ce type d'étude. C'est pourquoi cette valeur de 100 mSv a été choisi pour définir schématiquement le domaine des "faibles doses".

### Les faibles doses présentent-elles des risques ?

L'absence d'effets décelables lors d'études épidémiologiques menées jusqu'à présent ne permet pas

### ÉCLAIRAGE

#### ■ On distingue divers modes d'exposition à des faibles doses de radioactivité :

- irradiation externe chronique. Par exemple : les rayons cosmiques frappant la Terre ;
- irradiation externe ponctuelle. Par exemple : un examen radiologique ;
- contamination interne chronique. Par exemple : l'inhalation de radon contenu dans l'air ;
- contamination interne ponctuelle. Par exemple : l'ingestion d'eau contaminée.

Noak/Le bar Floréal/IRSN

●●● d'exclure l'existence de risques pour les êtres vivants. De plus amples recherches sont indispensables. Pour identifier ces risques biologiques et/ou pathologiques<sup>(1)</sup>, il faut mener des recherches complexes et nécessairement longues associant travaux épidémiologiques, cliniques et expérimentaux. Seules la diversité et la complémentarité des approches permettront d'en savoir plus.

### À quelles difficultés sont confrontés les chercheurs qui travaillent sur les faibles doses ?

L'exposition à la radioactivité naturelle vient s'ajouter aux éventuelles expositions professionnelles, médicales ou accidentelles. Il est donc difficile d'identifier l'impact respectif des unes et des autres. Par ailleurs, de nombreuses pathologies, et notamment des cancers, surviennent tout au long de la vie pour des raisons génétiques ou

(1) On distingue les effets biologiques, qui sont des modifications passagères ou permanentes du fonctionnement de l'organisme sans que cela soit néfaste pour lui, des effets pathologiques qui peuvent être plus ou moins graves.

## 1 sievert = 1 000 millisieverts

Le **sievert (Sv)**, en hommage au suédois Rolf Sievert et à ses recherches sur les effets biologiques des radiations, est l'unité qui sert à quantifier le risque lié à une exposition à des rayonnements ionisants. Alors que le becquerel (Bq) mesure l'activité de la matière nucléaire et que le gray (Gy) mesure la dose physiquement absorbée par la matière, le **sievert** permet, quant à lui, d'évaluer l'impact du rayonnement sur la matière vivante. Ainsi peut-on comparer l'effet d'une même dose délivrée par des rayonnements de nature différente à des organismes, des organes ou des tissus qui n'ont pas la même sensibilité aux radiations.

environnementales sans rapport avec une irradiation.

### Pourquoi y a-t-il de plus en plus de recherches dans ce domaine ?

L'extrapolation des effets des fortes doses à ceux des faibles doses ne reflète absolument pas la réalité. Étudier les effets liés à de faibles expositions chroniques est donc primordial. C'est pourquoi la Commission européenne finance désormais ces recherches et de plus en plus d'équipes lancent des programmes.

### Quelles vont être les conséquences d'une meilleure connaissance des effets de ces faibles doses ?

Actuellement, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) recommande que la population générale ne soit pas exposée à plus de 1 mSv par an ajouté à l'exposition naturelle. Pour les travailleurs, le seuil maximal recommandé est de 20 mSv par an. Ces seuils ont été fixés pour gérer les risques de manière optimale à un coût acceptable. Tester la pertinence du système de radioprotection actuel par des travaux scientifiques axés sur des résultats constatés permettra de juger du besoin éventuel d'ajuster les normes. Il est en effet essentiel que les mesures de protection reposent avant tout sur des connaissances scientifiques acquises dans le cadre d'études expérimentales, cliniques ou épidémiologiques. ■

# Des exposit

**Recherche.** Pour cerner les effets à les experts de l'IRSN investiguent

Conduire des travaux scientifiques sur les effets d'une exposition chronique à de faibles doses n'est pas aisé. Les effets sont peu visibles et l'impact sanitaire éventuel ne peut être observé que sur le long terme. Par ailleurs, les études sont lourdes à mettre en place, soit parce qu'elles demandent de suivre de vastes cohortes<sup>(1)</sup> sur plusieurs dizaines d'années, soit parce que la recherche expérimentale est coûteuse et délicate à réaliser. Pour autant, ces travaux sont indispensables pour connaître et prévenir les risques sur l'homme.

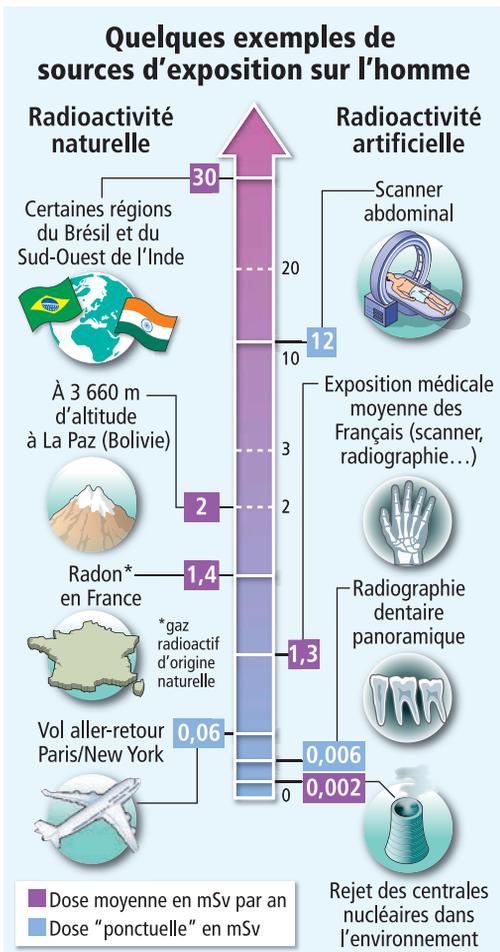
## ÉTUDIER DES POPULATIONS EXPOSÉES

30 000 enfants soumis à des examens irradiants font l'objet d'une étude.



Hubert Ragniet/Lookat5 Sciences

Personne n'imagine aujourd'hui se passer de l'imagerie médicale. À chaque radiographie ou scanner, le corps est soumis à un rayonnement ionisant. Cette exposition présente-t-elle un risque ? Pour le savoir, une étude portant sur 30 000 enfants de moins de 5 ans lors de leur premier examen irradiant a été lancée en janvier 2009 en collaboration avec 18 hôpitaux français. "En connaissant les examens subis par chaque enfant, on calcule les doses reçues. Puis, avec le registre national des cancers et des leucémies pédiatriques, on pourra identifier les enfants développant des cancers", explique Marie-Odile Bernier, chercheuse à l'IRSN, en charge de l'étude. "Il est très important de travailler sur le suivi des enfants exposés car ils sont plus sensibles que les adultes aux rayonnements. Mais, les résultats ne seront pas disponibles avant plu-



# ions chroniques à la loupe

long terme des irradiations et des contaminations chroniques à des faibles doses, les domaines de l'épidémiologie, mais aussi de la recherche expérimentale et clinique.

sièurs années!", ajoute le Dr Hervé Brisse, radiopédiatre dans le service de radiodiagnostic de l'Institut Curie à Paris et secrétaire scientifique de la Société d'imagerie pédiatrique et prénatale qui participe à cette étude.

**Les enfants sont aussi l'objet d'une étude sur l'exposition environnementale :** "La question des leucémies chez les enfants vivant à proximité des centrales nucléaires remonte aux années 1980", précise Dominique Laurier, chef du laboratoire d'épidémiologie de l'Institut. En 2008, l'IRSN a analysé près de 200 études scientifiques sur ce sujet. Conclusion : pas d'augmentation du risque de leucémies chez les 0-14 ans vivant à proximité d'une centrale. "Sauf qu'aucune de ces études ne fournit d'information sur les expositions de ces enfants ni sur leur histoire médicale" souligne-t-il. En collaboration avec l'Institut



**Pierre Barbey, membre de la société civile, s'intéresse aux effets de la radioactivité naturelle sur les enfants.**

national de la santé et de la recherche médicale (Inserm), l'équipe de Dominique Laurier va s'intéresser à des enfants vivant à proximité de sites nucléaires. "Nous allons évaluer leur exposition à la radioactivité naturelle et croiser cela avec les registres nationaux de leucémies infantiles." Pour Pierre Barbey, biologiste et membre de l'Association pour le contrôle de la radioactivité de l'Ouest (ACRO), "cette étude permettra d'apporter des réponses mais aussi de montrer qu'il subsiste encore beaucoup d'incertitudes".

**Le lien entre cancer du poumon et radon est très étudié** en matière d'exposition environnementale. Ce gaz radioactif naturellement présent dans l'atmosphère peut se trouver en quantité importante dans certaines habitations. Pour quantifier ce risque, l'IRSN a étudié "600 personnes atteintes de cancer du poumon et 1200 'témoins' [personnes du même âge, non atteintes de cette

maladie, Ndlr] qui vivent tous en Bretagne et en région Centre, où l'exposition au radon est plus importante que dans le reste de la France", explique Margot Tirmarche, directrice d'évaluation et d'animation scientifique à l'IRSN et membre de comités scientifiques internationaux tels la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Conclusion : il existe bien un lien entre le radon dans les maisons et le cancer du poumon. "Désormais, il nous faut convaincre le grand public qu'une bonne ventilation et parfois des interventions de professionnels de l'habitat sont nécessaires", précise-t-elle.

**Les travailleurs ne sont pas en reste.** "Lors d'opérations de maintenance dans les centrales nucléaires, il peut y avoir exposition à de faibles doses", explique Camille Metz, chercheuse sur les effets des irradiations externes à l'Institut. Elle est mesurée grâce au dosimètre individuel porté par les travailleurs." Les chercheurs disposent des relevés annuels des salariés du CEA depuis 1946, de ceux d'EDF depuis 1961 et ceux d'Areva depuis 1976, soit plus de 70 000 personnes ! Ces données sont croisées avec celles issues des certificats de



**Plus de 300 000 travailleurs en France sont susceptibles d'être exposés.**

décès émis en France depuis 1968. "On constate que la dose moyenne cumulée d'exposition durant toute la carrière professionnelle de ces personnes est de 20 mSv, ce qui est très faible. Au CEA et chez Areva, 50 % des travailleurs ont une dose indétectable. Pour déceler les risques liés à des doses aussi faibles, nous devons croiser cela avec d'autres cohortes<sup>(1)</sup>. Ainsi, sur une quinzaine de pays, soit 400 000 travailleurs, on a pu montrer une association entre exposition professionnelle et risque de décès par cancers. En poursuivant ces études, nous saurons si les recommandations actuelles doivent ou non évoluer", résume Camille Metz. Plus la durée du suivi sera longue et plus les résultats de ces études seront pertinents. ●●●

## Un laboratoire dédié aux effets sanitaires des expositions faibles aux radiations



O. Seignette/M. Lafontani/IRSN

**Dominique Laurier dirige l'équipe du Lepid, à Fontenay-aux-Roses.**

Une quinzaine de personnes mènent des études sur les effets sanitaires chez l'homme d'une exposition chronique aux faibles doses à l'IRSN. Ils suivent des populations très diverses afin d'étudier tous types d'exposition : environnementale, professionnelle ou médicale. Ces spécialistes travaillent au sein du Lepid, le laboratoire d'épidémiologie. Créé au début des années 1990, il est situé à Fontenay-aux-Roses. Actuellement, le Lepid s'intéresse à la relation entre la dose reçue et le risque d'apparition d'effets, à la variation d'un individu à l'autre du risque et aux pathologies non cancéreuses.

(1) Cohorte : ensemble d'individus suivis chronologiquement, à partir d'un temps initial donné, dans le cadre d'une étude épidémiologique. Une cohorte forme un groupe homogène choisi pour l'étude d'une pathologie. (Larousse médical).

Une contamination quotidienne de rats de laboratoire par de faibles doses d'uranium appauvri, n'altère pas l'état de santé général de l'animal.



Olivier Seignette/Mikaël Lafontan/IRSN



Thomas Gogny

Recherche d'arythmie cardiaque chez un enfant vivant en Biélorussie.



Noak/Le bar Floréal/IRSN

## DÉTERMINER LES EFFETS SUR UN ORGANISME VIVANT

Pour comprendre les mécanismes liés à une contamination chronique, les chercheurs du programme Envirhom (lire encadré) étudient notamment des rongeurs, dont l'eau de boisson contient de l'uranium. "Neuf mois de contamination quotidienne chez un rat équivalent à vingt ans chez un homme par rapport à sa durée de vie, précise Isabelle Dublineau, chef du laboratoire de radiotoxicologie expérimentale à l'IRSN. Grâce aux études expérimentales, nous maîtrisons tous les paramètres de vie et de contamination de l'animal. Cela nous permet d'être très précis par rapport à la quantité ingérée, et de ne pas interférer avec les effets d'autres polluants. Nous nous intéressons à la localisation de l'uranium dans l'organisme et aux réponses physiologiques. Quelles modifications sont observées, par exemple, au niveau du système cardio-vasculaire, du tube digestif, de l'immunité ou des fonctions du cerveau ? Comment les effets observés varient en fonction des doses, de la durée d'exposition ou du type d'uranium – appauvri, naturel ou enrichi ?" Alors que l'os et le rein sont les principaux organes cibles lors d'une exposition aiguë, les résultats d'Envirhom ont montré que le système nerveux

central, le foie et les organes reproducteurs (femelles) peuvent être également affectés. "Nous constatons une modification des métabolismes majeurs<sup>(2)</sup>, ainsi que des fonctions cognitives [c'est-à-dire le système nerveux central, Ndlr] et reproductives<sup>(3)</sup>, explique Isabelle Dublineau. Une contamination chronique à faible niveau par de l'uranium peut donc avoir des effets non cancéreux sur divers organes. Cette contamination, aux quantités ingérées, induit des effets biologiques de type adaptatif<sup>(4)</sup>, qui ne conduisent pas à des pathologies."

"Pour la première fois, nous avons montré qu'une contamination chronique par de l'uranium enrichi perturbe le cycle veille-sommeil des rats. Elle augmente leur niveau d'anxiété et de troubles de la mémoire. Avec une contamination équivalente par de l'uranium appauvri, l'état général n'est pas altéré, explique Philippe Lestavel, spécialiste du système nerveux central à l'IRSN. Nous avons aussi constaté des modifications du système cardiovasculaire lors d'une contamination par le césium 137, mais cela ne signifie pas forcément qu'il y ait pathologie."

## Un programme étudie les mécanismes d'action de l'uranium

Le programme d'études expérimentales Envirhom a été lancé en 2001 par l'IRSN pour permettre une meilleure évaluation des risques liés à l'exposition chronique de radionucléides à la fois sur l'environnement et sur la santé de l'homme. Entre 20 et 25 personnes par an travaillent sur l'axe santé. "Il s'agit de mimer, chez des animaux, ce qui peut se passer dans une population soumise à une contamination chronique, explique Isabelle Dublineau, chef du programme Envirhom. Nous menons des études descriptives afin d'acquérir de nouvelles connaissances et des études plus ciblées sur les mécanismes d'action de l'uranium."



Isabelle Dublineau est chargée de coordonner le programme Envirhom.

Olivier Seignette/Mikaël Lafontan/IRSN

## SUIVRE LES POPULATIONS DES TERRITOIRES CONTAMINÉS

L'accident nucléaire de Tchernobyl, survenu le 26 avril 1986, demeure à ce jour la plus grande catastrophe de l'industrie nucléaire civile. L'exposition des populations a eu des conséquences sanitaires comme une augmentation de l'incidence des cancers de la thyroïde chez les enfants âgés de moins de 15 ans au moment de l'accident et vivant sur les territoires contaminés de Russie, Biélorussie et Ukraine. Certaines études menées en Biélorussie suggèrent que les enfants vivant sur les territoires contaminés, et plus particulièrement par du césium 137, présenteraient des pathologies inhabituelles, non cancéreuses telles que cataractes, anémies ou encore troubles du rythme cardiaque.

En avril 2005, l'IRSN a décidé de lancer un programme de recherche appelé Épice (Évaluation des pathologies induites par une contamination par le césium). Il suit les enfants vivant sur les territoires russes contaminés afin d'évaluer leur contamination par du césium 137. De plus, il est destiné à recenser les pathologies non cancéreuses, en particulier arythmies cardiaques et cataractes. Il sera ainsi possible de confirmer ou infirmer l'existence d'un lien de cause à effet. Plusieurs phases préparatoires ont déjà eu lieu, permettant de valider la faisabilité d'une vaste étude épidémiologique. L'étude portant sur les arythmies cardiaques a été lancée en mai 2009. Elle concerne 18000 enfants, dont la moitié vit sur des terrains non contaminés. Les premiers résultats sont attendus pour 2013. ■

(2) Les métabolismes du cholestérol, des xénobiotiques (substances étrangères à l'organisme telles que les médicaments), des hormones stéroïdiennes, du fer, de la vitamine D. Par exemple, l'uranium perturbe le métabolisme de la vitamine D ce qui peut conduire à un risque d'augmentation de la fragilité osseuse.

(3) Des études ont observé une baisse de qualité des cellules reproductrices femelles (ovocytes) sans modification de l'intensité de l'ovulation.

(4) Le terme d'effets biologiques de type adaptatif est utilisé lorsque des perturbations sont constatées sans entraîner de pathologie ou de menace pour la santé; l'organisme s'adapte à l'entrée de ce radionucléide.