

SOMMAIRE

1

p.100

L'état des connaissances sur les dangers et les risques liés aux rayonnements ionisants

1.1 Les effets biologiques et les effets sanitaires

1.2 L'évaluation des risques liés aux rayonnements ionisants

1.3 Les incertitudes scientifiques et la vigilance

1.3.1 La réponse individuelle aux rayonnements ionisants

1.3.2 Les effets des faibles doses

1.3.3 La signature moléculaire dans les cancers radio-induits

2

p.103

Les différentes sources de rayonnements ionisants

2.1 Les rayonnements ionisants d'origine naturelle

2.1.1 Les rayonnements cosmiques

2.1.2 Les rayonnements d'origine terrestre (hors radon)

2.1.3 Le radon

2.2 Les rayonnements ionisants liés aux activités humaines

2.2.1 Les installations nucléaires de base

2.2.2 Le transport de substances radioactives

2.2.3 Les activités nucléaires de proximité

2.2.4 La gestion des déchets radioactifs

2.2.5 La gestion des sites contaminés

2.2.6 Les activités utilisant des substances radioactives d'origine naturelle

3

p.107

La surveillance des expositions aux rayonnements ionisants

3.1 Les doses reçues par les travailleurs

3.1.1 La surveillance des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants

3.1.2 Cas de l'exposition des travailleurs à la radioactivité naturelle

3.2 Les doses reçues par la population

3.2.1 L'exposition de la population du fait des activités nucléaires

3.2.2 L'exposition de la population aux rayonnements naturels

3.3 Les doses reçues par les patients

3.4 L'exposition des espèces non humaines (animales et végétales)



Les activités nucléaires : rayonnements ionisants et risques pour la santé et l'environnement



01

Les **rayonnements ionisants** peuvent être d'origine naturelle ou provenir d'activités nucléaires d'origine humaine.

Les expositions de la population aux rayonnements ionisants d'origine naturelle résultent de la présence de radionucléides d'origine terrestre dans l'environnement, de l'émanation de **radon** en provenance du sous-sol et de l'exposition aux **rayonnements cosmiques**.

Les activités nucléaires sont définies par le code de la santé publique (**CSP**) comme « *les activités comportant un risque d'exposition des personnes aux rayonnements ionisants lié à la mise en œuvre soit d'une source artificielle, qu'il s'agisse de substances ou de dispositifs, soit d'une source naturelle, qu'il s'agisse de substances radioactives naturelles ou de matériaux contenant des radionucléides naturels [...]* ».

Ces activités nucléaires incluent celles qui sont menées dans les installations nucléaires de base (INB) et dans le cadre du transport de substances radioactives, ainsi que dans les domaines médical, vétérinaire, industriel et de recherche.

Au-delà des effets des rayonnements ionisants, certaines installations peuvent être à l'origine de risques et de nuisances non radiologiques tels que les rejets de substances chimiques dans l'environnement ou l'émission de bruit.

Les différents principes auxquels doivent répondre les activités nucléaires, notamment les principes de **sûreté nucléaire** et de **radioprotection**, sont présentés au chapitre 2.

1 L'état des connaissances sur les dangers et les risques liés aux rayonnements ionisants

Les rayonnements ionisants sont définis comme étant capables de produire directement ou indirectement des ions lors de leur passage à travers la matière. Parmi eux, on distingue les rayons X, les rayonnements gamma, alpha et bêta, ainsi que les rayonnements neutroniques, chacun d'entre eux étant caractérisé par des énergies et des pouvoirs de pénétration différents.

1.1 LES EFFETS BIOLOGIQUES ET LES EFFETS SANITAIRES

Qu'ils soient le fait de particules chargées, par exemple électron ou positon (rayonnements bêta) ou un noyau d'hélium (rayonnement alpha), ou de photons (rayons X ou rayons gamma), les rayonnements ionisants peuvent interagir avec les molécules constitutives des cellules de la matière vivante et les transformer chimiquement. Parmi les lésions ainsi créées, les plus importantes concernent l'ADN des cellules ; elles ne sont pas fondamentalement différentes de celles provoquées par certaines substances chimiques toxiques, exogènes (extérieures à l'organisme) ou endogènes (résultant du métabolisme cellulaire).

Lorsqu'elles ne sont pas réparées par les cellules elles-mêmes, ces lésions peuvent conduire soit à la mort cellulaire soit à l'apparition d'effets biologiques néfastes, dès lors que le tissu ne peut plus assurer ses fonctions.

De tels effets, appelés « **effets déterministes** », sont connus de longue date puisque les premiers effets ont été décrits assez tôt après la découverte des rayons X par W. Röntgen (début des années 1900). Ils dépendent de la nature du tissu exposé et apparaissent de façon certaine dès que la quantité de rayonnements absorbée dépasse un certain niveau de dose. Parmi ces effets, on peut citer par exemple l'érythème, la radiodermite, la radionécrose et la cataracte. Les effets sont d'autant plus graves que la dose de rayonnements reçue par le tissu est importante.

Les cellules peuvent aussi réparer, mais de façon imparfaite ou erronée, les lésions ainsi provoquées. Parmi les lésions qui subsistent, celles de l'ADN revêtent un caractère particulier, car des anomalies résiduelles au niveau des chromosomes peuvent être transmises par divisions cellulaires successives à de nouvelles cellules. Une seule mutation génétique est loin d'être suffisante pour la transformation en cellule cancéreuse, mais cette lésion due aux rayonnements ionisants peut constituer une première étape vers la cancérisation qui apparaît après un temps variable jusqu'à plusieurs années après l'exposition.

La suspicion d'un lien de causalité entre une exposition aux rayonnements ionisants et la survenue d'un cancer remonte à 1902 (observation d'un cancer de la peau sur une radiodermite). On parle alors de « cancer radio-induit ».

Par la suite, plusieurs types de cancer ont été observés en milieu professionnel, dont certains types de leucémie, des cancers bronchopulmonaires (par inhalation de radon) et des ostéosarcomes de la mâchoire. Hors du domaine professionnel, le suivi pendant plus de soixante ans d'une cohorte⁽¹⁾ d'environ 85 000 personnes irradiées lors des bombardements nucléaires d'Hiroshima et de Nagasaki (Japon) a permis de réunir des données sur la morbidité et la mortalité par cancer après exposition aux rayonnements ionisants, et de décrire les relations dose-effets, qui sont à la base de la réglementation actuelle. D'autres travaux épidémiologiques ont permis de mettre en évidence, chez les patients traités par radiothérapie, une augmentation statistiquement significative des cancers (effets secondaires) imputables aux rayonnements ionisants. Citons également l'**accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl** (Ukraine) qui, du fait de l'iode radioactif rejeté, a provoqué dans les régions proches du lieu de l'accident un excès de cancers de la thyroïde chez des sujets jeunes exposés pendant leur enfance.

1. Cohorte : groupe d'individus considérés comme un ensemble et participant à une étude statistique des circonstances d'apparition des maladies.

Les conséquences sanitaires de l'[accident de la centrale nucléaire de Fukushima](#) (Japon) pour les populations avoisinantes ont également fait l'objet de travaux et d'analyses, dont certains sont encore en cours, afin d'en tirer les enseignements au plan épidémiologique.

Le risque de cancer radio-induit n'est pas lié à un dépassement de seuil. Il se manifeste par un accroissement de la probabilité de cancer en fonction de la dose de rayonnements reçus, et dépend également de l'âge et du sexe. On parle alors d'effets probabilistes, stochastiques (dont l'apparition, à la suite d'une exposition, dépend du hasard) ou aléatoires. La probabilité de développer un cancer augmente avec la dose. Toutefois, l'impact des faibles doses sur l'apparition d'un cancer fait l'objet de débats scientifiques (voir point 1.2).

Établis au plan international, les objectifs de santé publique de la radioprotection visent à éviter l'apparition des effets déterministes et à réduire la probabilité d'apparition de cancers radio-induits ; l'ensemble des résultats des études semble indiquer que les cancers radio-induits constituent le risque sanitaire prépondérant lié à l'exposition aux rayonnements ionisants.

1.2 L'ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

En France, la surveillance de l'épidémiologie des cancers est fondée sur des registres de maladies, sur la surveillance des causes de décès et, plus récemment, s'appuie également sur l'exploitation des données du programme médicalisé des systèmes d'information des établissements de santé et sur les déclarations d'affection de longue durée. Les registres sont des structures qui réalisent « un recueil continu et exhaustif de données nominatives intéressant un ou plusieurs événements de santé dans une population géographiquement définie, à des fins de recherche et de santé publique, par une équipe ayant les compétences appropriées ». Certains dits « généraux » s'intéressent à tous les types de cancer, leur périmètre est départemental ou interdépartemental ; d'autres, dits « spécialisés », se focalisent sur un cancer particulier. Leur portée est un périmètre géographique variable (agglomération, département, région, voire national). Les trois registres nationaux concernent pour le premier le mésothéliome de la plèvre dans le cadre d'exposition principalement aux fibres d'amiante, les deux autres couvrent l'ensemble des pathologies cancéreuses de l'enfant et de l'adolescent jusqu'à 18 ans (source : INCa).

Dans une zone couverte par un registre, l'objectif est de mettre en évidence des différences de répartition spatiale, de dégager des évolutions temporelles en matière d'augmentation ou de diminution du taux d'incidence des différentes localisations cancéreuses, ou encore de repérer un agrégat de cas.

En fonction de la qualité de leur base de données populationnelle et de leur ancienneté, certains registres participent à de nombreuses études explorant les facteurs de risque des cancers (dont les risques environnementaux).

L'investigation épidémiologique est une tâche complémentaire de la surveillance. Elle a pour vocation de mettre en évidence une association entre un facteur de risque et la survenue d'une maladie, entre une cause possible et un effet, ou tout au moins de permettre d'affirmer que l'existence d'une telle relation causale présente une très forte probabilité. La difficulté intrinsèque à mener ces études est à rappeler, de même que la difficulté à conclure de façon convaincante lorsque le délai d'apparition de la maladie est long ou encore lorsque le nombre de cas attendus est faible, ce

qui est notamment le cas pour des expositions faibles de quelques dizaines de millisieverts (mSv).

Les cohortes comme celles de Hiroshima et de Nagasaki ont clairement mis en évidence un excès de cancers, pour une exposition moyenne de l'ordre de 200 mSv. En raison de données insuffisantes sur l'impact des faibles doses sur l'apparition d'un cancer, des estimations sont fournies en extrapolant de façon linéaire et sans seuil les effets observés décrits aux fortes doses. Ces modélisations donnent des estimations des risques encourus lors d'une exposition aux faibles doses de rayonnements ionisants qui restent cependant controversées au niveau scientifique. Des études sur de très larges populations sont actuellement menées pour mieux caractériser ces risques. Des études épidémiologiques récentes sur des travailleurs de l'industrie du nucléaire⁽²⁾ et sur des enfants et adolescents exposés à des rayonnements ionisants lors d'examen scanners⁽³⁾ retrouvent ainsi une augmentation du risque de cancers proportionnelle à la dose reçue qui reste significative, y compris lorsque l'intervalle étudié est restreint à des doses cumulées faibles inférieures à 100 milligrays (mGy), confortant ainsi ce qui jusqu'alors n'était qu'une hypothèse.

Ces résultats consolident les connaissances sur l'impact des rayonnements ionisants à faibles doses et confirment l'importance des principes d'optimisation et de justification pour la protection radiologique des populations exposées quelle qu'en soit l'origine (rayonnement naturel, exposition médicale, industrie nucléaire, etc.).

Sur la base des synthèses scientifiques du Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* – [UNSCEAR](#)), la Commission internationale de protection radiologique ([CIPR](#)) a publié les coefficients de risque de décès par cancer dus aux rayonnements ionisants, soit 4,1% d'excès de risque par sievert pour les travailleurs et 5,5% par sievert pour la population générale (voir [publication 103](#) de la CIPR).

L'évaluation du risque de cancer du poumon dû au radon⁽⁴⁾ repose sur un grand nombre d'études épidémiologiques, réalisées directement dans l'habitat, en France et à l'échelle internationale. Elles ont permis de décrire une relation linéaire, même pour une exposition faible (200 becquerels par mètre cube – Bq/m³) sur une durée de vingt à trente ans. En 2009, l'Organisation mondiale de la santé ([OMS](#)) a recommandé un niveau de référence de 100 Bq/m³, et dans tous les cas de rester en deçà de 300 Bq/m³. La [publication 115](#) de la CIPR a comparé les risques de cancer du poumon observés dans le cadre des études sur les mineurs d'uranium avec ceux observés en population générale et a conclu à une très bonne concordance des risques observés dans ces deux conditions d'exposition au radon. Les recommandations de la CIPR confortent celles émises par l'OMS, qui considère que le radon constitue, loin après le tabac, le deuxième facteur le plus important de risque de cancer du poumon. Par ailleurs, pour des expositions au radon égales, le risque de cancer du poumon est beaucoup plus élevé chez les fumeurs : trois quarts des décès par cancer du poumon attribuables au radon surviendraient chez des fumeurs.

En France métropolitaine, environ 12 millions de personnes, réparties dans près de 7 000 communes, sont potentiellement exposées à des concentrations élevées en radon. Selon l'[Agence nationale de santé publique](#) (2018), le nombre de nouveaux cas de cancer du poumon attribuables au radon en France métropolitaine est estimé à environ 4 000 par an, loin derrière celui dû au tabac (le nombre de nouveaux cas de cancer du poumon en France

2. Source : étude *Inworks* – IRSN, note d'information du 3 octobre 2023, irsn.fr.

3. Source : étude *EPI CT* – IRSN, irsn.fr.

4. Le radon est un gaz radioactif naturel, descendant de l'uranium et du thorium, émetteur de particules alpha et classé cancérigène pulmonaire certain par le Centre international de recherche contre le cancer (CIRC) depuis 1987.

métropolitaine est estimé à 46 000 en 2018). À l'initiative de l'ASN, un [plan national d'action pour la gestion du risque lié au radon](#) a été mis en place depuis 2004. Il est périodiquement réactualisé. Le 4^e plan (2020-2024) a été publié début 2021 (voir point 3.2.2).

1.3 LES INCERTITUDES SCIENTIFIQUES ET LA VIGILANCE

Les actions menées dans les domaines de la sûreté nucléaire et de la radioprotection pour prévenir les accidents et limiter les nuisances ont permis de réduire les doses, qu'il s'agisse, par exemple, des doses reçues par les travailleurs ou de celles associées aux rejets des INB. De nombreuses incertitudes subsistent ; elles conduisent l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) à rester attentive aux résultats des travaux scientifiques en cours, en radiobiologie et en radiopathologie par exemple, avec des retombées possibles en radioprotection, notamment en ce qui concerne la gestion des risques liés aux faibles doses.

On peut citer, en particulier, plusieurs zones d'incertitudes concernant la radiosensibilité, les effets des faibles doses en fonction de l'âge, l'existence de signatures (mutations spécifiques de l'ADN) qui pourraient être observées dans des cancers radio-induits et certaines maladies non cancéreuses observées dans les suites de radiothérapie.

1.3.1 La réponse individuelle aux rayonnements ionisants

Les effets des rayonnements ionisants sur la santé varient d'un individu à l'autre. Dès 1906, Bergonié et Tribondeau ont avancé pour la première fois qu'une même dose n'a pas le même effet selon qu'elle est reçue par un enfant en période de croissance ou par un adulte.

La variabilité de la radiosensibilité individuelle est observée aux fortes doses de rayonnements ionisants, notamment en matière de réponses tissulaires. Elle a été bien documentée par les radiothérapeutes et les radiobiologistes. Des niveaux de radiosensibilité élevés ont été constatés dans le cas de sujets souffrant de maladies génétiques de la réparation de l'ADN et de la signalisation cellulaire. De telles réponses anormales sont également observées chez des personnes souffrant de maladies neurodégénératives.

Aux doses faibles et modérées, cette variabilité de la radiosensibilité, à l'échelle cellulaire notamment, est de plus en plus documentée ainsi que le fait qu'une radiosensibilité à un niveau

de dose n'implique pas nécessairement une radiosensibilité à d'autres niveaux de doses. Grâce à l'abaissement des seuils de détection, certaines méthodes récentes d'immunofluorescence de cibles moléculaires de la signalisation et de la réparation des lésions de l'ADN permettent de mieux documenter les effets des rayonnements ionisants aux faibles doses. Les recherches effectuées avec ces nouvelles méthodes apportent des résultats qui doivent encore être validés en clinique avant d'être intégrés dans les pratiques médicales.

Les travaux du Groupe de recherche européen sur les faibles doses (*Multidisciplinary European Low Dose Initiative* – [MELODI](#)) et pour le domaine médical (*European platform for research activities in medical radiation protection* – Euramed) se poursuivent sur ce sujet. Le groupe de travail ([TG111](#)) de la CIPR dédié à ce sujet a publié une revue de l'état des connaissances sur la radiosensibilité individuelle et des possibilités de la prédire en vue d'élaborer des recommandations internationales de radioprotection. Toutefois, à ce stade, il ressort qu'aucun biomarqueur valide ne permet cette prédiction. La réponse individuelle aux rayonnements ionisants demeure un sujet important de recherche et d'application en radiobiologie et en radioprotection (Euratom 2021-2022).

1.3.2 Les effets des faibles doses

La relation linéaire sans seuil

La relation linéaire sans seuil est un modèle utilisé en radioprotection pour estimer la probabilité de risque associé à une exposition à des rayonnements ionisants tenant compte du principe de précaution. Selon cette relation, il y aurait un risque dès la première exposition, en proportion de la dose de rayonnements reçue. Toutefois, de nombreuses incertitudes existent. C'est pourquoi certains estiment que les effets des faibles doses pourraient être supérieurs, d'autres pensent que ces doses pourraient n'avoir aucun effet en deçà d'un certain seuil ; certains affirment même que des faibles doses ont un effet bénéfique. La recherche en biologie moléculaire et cellulaire progresse, les études épidémiologiques menées sur des cohortes importantes aussi. La CIPR considère que l'hypothèse de cette relation, retenue pour modéliser l'effet des faibles doses sur la santé (voir point 1.2), constitue une base prudente pour la gestion du risque dû à l'exposition aux rayonnements ionisants. Elle s'impose pour les décideurs compte tenu des incertitudes qui demeurent face à la complexité des phénomènes de réparation et de mutation de l'ADN et aux limites méthodologiques de l'épidémiologie malgré les progrès de la recherche en biologie moléculaire et cellulaire.



ÉVALUATION DE L'EXPOSITION DUE AU RADON : LES RECOMMANDATIONS DE LA COMMISSION INTERNATIONALE DE PROTECTION RADIOLOGIQUE

La CIPR, qui a émis de nouvelles recommandations pour le calcul des doses efficaces et équivalentes (publication 103) en 2007, actualise progressivement les valeurs des coefficients de dose efficace pour l'exposition interne et externe. Sa [publication 137](#) (2017) porte sur 14 radioéléments, dont le radon.

La [publication 115](#) de la CIPR (2010) a permis une mise à jour du risque de cancer du poumon lié à l'exposition au radon sur la base de nouvelles études épidémiologiques. La CIPR avait conclu que le risque de décès par cancer du poumon chez les adultes

ayant été exposés de façon chronique à de faibles concentrations de radon était près de deux fois plus élevé que celui estimé sur la base des connaissances disponibles en 1993 ([publication 65](#)).

Ces coefficients reposaient sur une approche épidémiologique. La CIPR, dans sa publication 137, propose de nouveaux coefficients fondés sur une approche dosimétrique, comme pour les autres radionucléides. Ils conduisent, à exposition égale au radon et à ses descendants, à augmenter de façon significative la dose efficace annuelle

reçue par les travailleurs exposés au radon (près de deux fois plus élevée).

L'[arrêté du 16 novembre 2023](#) définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants a ainsi actualisé les coefficients de dose pour le radon à compter du 1^{er} janvier 2024. Cette actualisation modifie le calcul de la dose efficace moyenne reçue par la population en France qui passe ainsi de 3,5 à 6,5 millisieverts par an (mSv/an)^(*), l'exposition au radon représentant désormais 54 % de l'exposition globale (contre 33 % auparavant).

* Exposition de la population française aux rayonnements ionisants – *Bilan 2014-2019*, IRSN, 2021.

La dose, le débit de dose et la durée de l'exposition

Les études épidémiologiques réalisées sur les personnes exposées aux bombardements de Hiroshima et de Nagasaki ont permis de mieux connaître les effets des rayonnements sur la santé, pour des expositions dues à une irradiation externe (exposition externe) en quelques fractions de seconde, à forte dose et fort débit de dose⁽⁵⁾ de rayonnements ionisants. Les études menées dans les pays les plus touchés par l'accident de Tchernobyl (la Biélorussie, l'Ukraine et la Russie) ont aussi fait avancer les connaissances sur l'effet des rayonnements sur la santé pour des expositions dues à une contamination interne (exposition interne), notamment à l'iode radioactif. Les études sur les travailleurs de l'industrie nucléaire ont permis de mieux préciser le risque pour des expositions chroniques à faibles doses établies sur de nombreuses années, que ce soit le résultat d'expositions externes ou de contaminations internes.

Les effets héréditaires et tératogènes

La survenue d'éventuels effets héréditaires des rayonnements ionisants n'a pas été démontrée chez l'homme. De tels effets n'ont pas été observés chez les survivants des bombardements de Hiroshima et de Nagasaki. Mais des effets héréditaires ont été documentés dans des travaux expérimentaux chez l'animal ; en particulier, les mutations induites par les rayonnements ionisants dans les cellules germinales (cellules à l'origine des cellules reproductrices : spermatozoïdes ou ovules) sont transmissibles à la descendance. Un groupe de travail de la CIPR, le [TG121](#), travaille actuellement sur le sujet des effets héréditaires et sur leurs modes de transmission aux générations futures.

La protection de l'environnement

La radioprotection a pour but de prévenir, réduire et limiter l'exposition aux rayonnements ionisants sur les personnes, directement ou indirectement, y compris par des effets délétères portés à l'environnement. Au-delà de la protection de l'environnement orientée vers la protection de l'homme et des générations présentes ou futures, la protection des espèces non humaines fait partie en tant que telle de la protection de l'environnement prescrite en France par la [Charte constitutionnelle de l'environnement](#). La protection de la nature au nom de l'intérêt propre des espèces animales et végétales (voir point 3.4) a fait l'objet de plusieurs publications depuis 2008 ([CIPR 108](#), [114](#), [124](#) et [148](#)).

1.3.3 La signature moléculaire dans les cancers radio-induits

Il n'est actuellement pas possible de faire la différence entre un cancer radio-induit et un cancer qui ne le serait pas. En effet, les lésions provoquées par les rayonnements ionisants au niveau moléculaire ne semblent pas différentes de celles qui résultent du métabolisme cellulaire normal, avec l'implication dans les deux cas de radicaux libres, en particulier oxygénés. De plus, ni l'examen anatomopathologique ni la recherche de mutations spécifiques n'ont permis de différencier jusqu'à présent une tumeur radio-induite d'une tumeur sporadique.

On sait qu'aux premières étapes de la carcinogenèse (processus de formation du cancer) une cellule apparaît présentant une combinaison particulière de lésions de l'ADN lui permettant d'échapper au contrôle habituel de la division cellulaire et qu'il faut une dizaine à une centaine de lésions de l'ADN (mutations, cassures, etc.) en des points névralgiques pour franchir ces étapes. Tous les agents capables de léser l'ADN cellulaire (tabac, alcool, produits chimiques variés, rayonnements ionisants, température élevée, autres facteurs d'environnement notamment nutritionnels, radicaux libres du métabolisme cellulaire normal, etc.) contribuent au vieillissement cellulaire et à la carcinogenèse.

Dans une approche multirisque de la carcinogenèse, peut-on alors continuer à parler de cancers radio-induits ? Oui, compte tenu des nombreuses données épidémiologiques qui indiquent que la fréquence des cancers augmente lorsque la dose augmente, une fois tenu compte des autres principaux facteurs de risque. Cependant, l'événement radio-induit peut aussi être le seul en cause dans certains cas (cancers radio-induits chez les enfants).

La mise en évidence d'une signature radiologique des cancers, c'est-à-dire la découverte de marqueurs permettant de signer l'éventuelle composante radio-induite d'une tumeur, serait d'un apport considérable dans l'évaluation des risques liés aux expositions aux rayonnements ionisants, mais reste à ce jour non démontrée.

Le caractère multifactoriel de la carcinogenèse plaide pour une approche de précaution vis-à-vis de tous les facteurs de risque, puisque chacun d'entre eux est susceptible de contribuer à une altération de l'ADN. Ceci est particulièrement important chez les personnes présentant une radiosensibilité individuelle élevée et pour les organes les plus sensibles comme le sein et la moelle osseuse, et ce d'autant plus que les personnes sont jeunes. Les principes de justification et d'optimisation trouvent là toute leur place (voir chapitre 2).

2 Les différentes sources de rayonnements ionisants

2.1 LES RAYONNEMENTS IONISANTS D'ORIGINE NATURELLE

En France, l'exposition à la radioactivité naturelle, sous ses différents modes (exposition aux rayonnements cosmiques, rayonnements telluriques, celle liée à l'incorporation de radionucléides naturels contenus dans les denrées et l'eau de boisson et celle associée à la présence de radon dans l'habitat) représente en moyenne 76% de l'exposition totale annuelle⁽⁶⁾.

2.1.1 Les rayonnements cosmiques

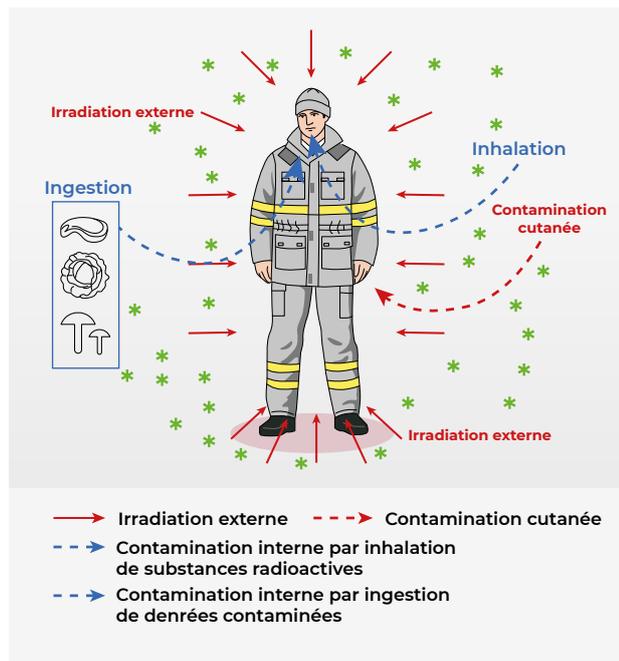
Les rayonnements cosmiques sont composés essentiellement d'ions. Ils possèdent une composante directement ionisante et une composante indirectement ionisante due aux neutrons (dite « composante neutronique »), variables en fonction de l'altitude et de la longitude.

En prenant en compte l'altitude de chaque commune, le temps moyen passé à l'intérieur des habitations et un facteur de protection d'habitat de 0,8 (l'habitat atténue la composante ionique des rayonnements cosmiques), l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire ([IRSN](#)) évalue la dose efficace individuelle

5. Le débit de dose radioactive détermine la dose absorbée (énergie absorbée par la matière) par unité de masse et de temps. Il se mesure en gray par seconde (Gy/s) dans le système international. Il est utilisé en physique et en radioprotection.

6. Exposition de la population française aux rayonnements ionisants – Bilan 2014-2019, IRSN, 2021.

Sources et voies d'exposition aux rayonnements ionisants



moyenne par habitant en France à 0,31 mSv avec une variation de 0,3 à 1,1 mSv/an selon les communes.

Les voyageurs et le personnel navigant sont exposés lors de vols aériens, en fonction de l'altitude du vol et du trajet, à une exposition qui varie de quelques microsieverts (μSv) pour un vol Paris-province à près de 80 μSv pour un vol Paris-Ottawa. La dose efficace moyenne annuelle reçue par la population est en France de 14 μSv .

Du fait d'une exposition accrue aux rayonnements cosmiques en raison de séjours prolongés en altitude, une surveillance dosimétrique s'impose pour le personnel navigant (voir point 3.1.3).

2.1.2 Les rayonnements d'origine terrestre (hors radon)

Les radionucléides naturels d'origine terrestre sont présents à des teneurs diverses dans tous les milieux constitutifs de notre environnement et de l'organisme humain. Ils conduisent à une exposition externe de la population du fait des rayonnements gamma émis par les produits de filiation de l'uranium-238 et du thorium-232, et par le potassium-40 présents dans les sols.

Exposition externe aux rayons gamma d'origine tellurique

À partir de résultats de mesures du débit de dose gamma ambiant sur le territoire à l'intérieur des bâtiments, de la cartographie du potentiel uranium des formations géologiques, d'une corrélation entre le débit de dose gamma d'origine tellurique à l'extérieur de l'habitat et celui à l'intérieur de l'habitat et d'hypothèses sur le temps passé par la population à l'intérieur et à l'extérieur des habitations (respectivement 92% et 8%), la dose efficace annuelle moyenne due à l'exposition externe aux rayonnements gamma d'origine tellurique est estimée en France par l'IRSN à environ 0,63 mSv par personne et par an. Elle varie de 0,30 mSv/an à 2,0 mSv/an selon les communes.

Exposition liée à l'incorporation de radionucléides d'origine naturelle

La moyenne de l'exposition interne due à l'incorporation de radionucléides d'origine naturelle est estimée à 0,55 mSv/an. Les deux principales composantes de cette exposition sont l'incorporation par l'alimentation et les eaux de boisson de potassium-40 (0,18 mSv) et des descendants des chaînes de l'uranium et du thorium (0,32 mSv).

En fonction des habitudes de consommation de chacun, en particulier de la consommation de poissons, de fruits de mer et de tabac, cette exposition peut fortement varier : de 0,4 mSv/an jusqu'à plus de 3,1 mSv/an pour, respectivement, les personnes ne consommant pas ces produits et celles en consommant de façon importante.

Les eaux destinées à la consommation humaine, notamment celles d'origine souterraine, ainsi que les eaux minérales, se chargent en radionucléides naturels du fait de la nature des couches géologiques dans lesquelles elles séjournent. La concentration en descendants de l'uranium et du thorium, mais aussi en potassium-40, varie selon les ressources exploitées, compte tenu de la nature géologique du sous-sol. La dose efficace moyenne liée aux descendants des chaînes U-Th dans les eaux de boisson est estimée par l'IRSN à 0,01 mSv/an. Une valeur haute de 0,30 mSv/an est retenue pour illustrer la variabilité de cette exposition.

2.1.3 Le radon

Certaines zones géographiques présentent un potentiel élevé d'exhalation de radon du fait des caractéristiques géologiques des terrains (sous-sol granitique par exemple). La concentration mesurée à l'intérieur des habitations dépend également de l'étanchéité du bâtiment (soubassements), de la ventilation des pièces et du mode de vie des occupants.

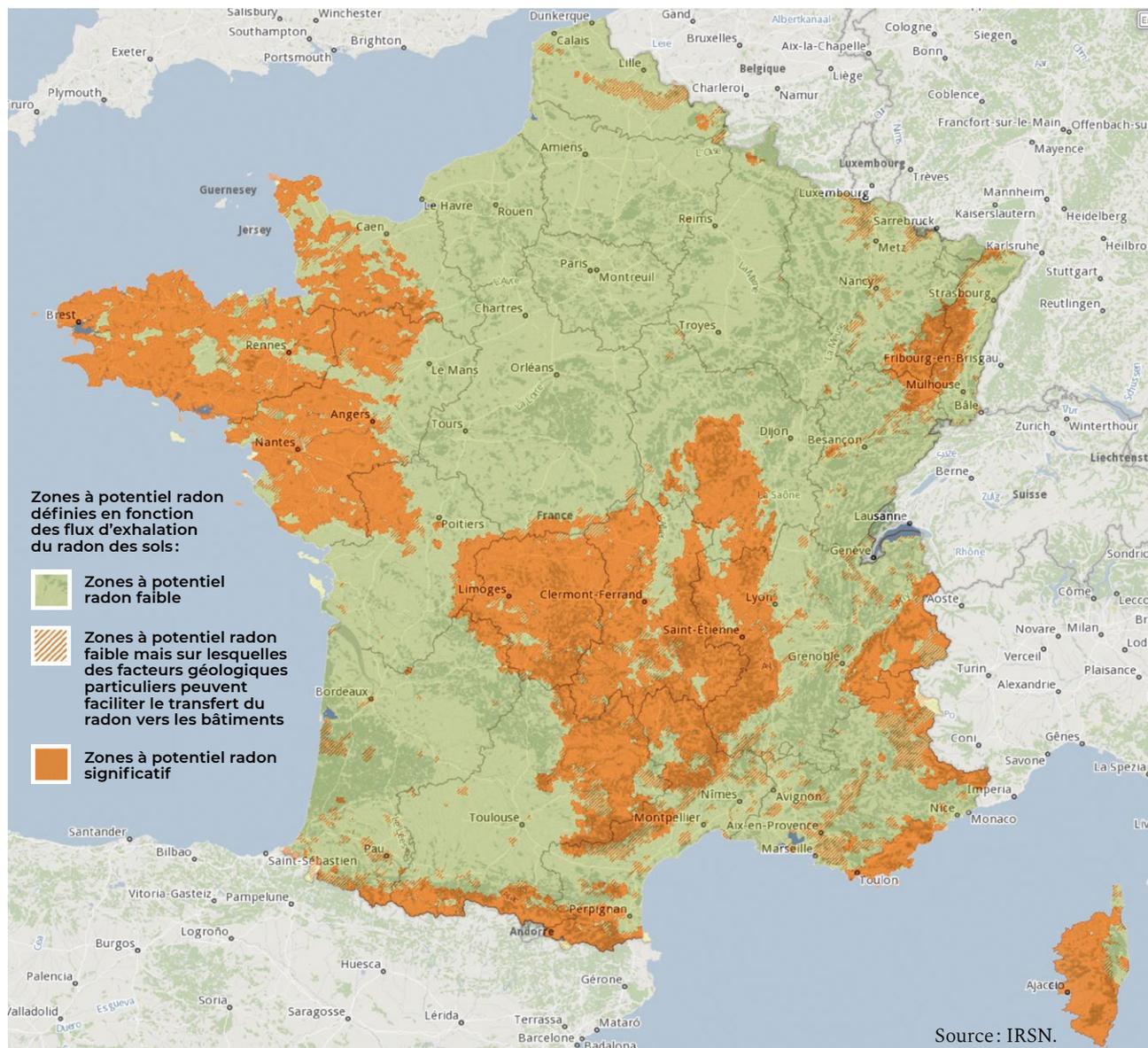
Des campagnes nationales de mesurages avaient permis de classer les départements en fonction du potentiel d'exhalation de radon des terrains. En 2011, l'IRSN a publié une cartographie du territoire national en considérant le potentiel d'exhalation de radon dans le sol, à partir des données du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM).

Sur cette base, une classification plus fine, par commune, a été publiée par l'[arrêté interministériel du 27 juin 2018](#) (voir moteur de recherche par commune et cartographie disponibles sur [asn.fr](#) et [irsn.fr](#)).

À partir des résultats de mesures disponibles et de la cartographie du potentiel radon géogénique du territoire, du temps moyen passé à l'intérieur des habitations et d'hypothèses sur les habitats concernés (collectifs ou individuels), l'IRSN a estimé la concentration moyenne en radon pour chaque commune : la concentration moyenne en radon-222 à l'intérieur de l'habitat en France métropolitaine, pondérée par la population et le type d'habitat, est de 60,8 Bq/m³. Avec le facteur de dose en vigueur depuis le 1^{er} janvier 2024, la dose efficace moyenne par habitant est estimée à 3,5 mSv/an. En fonction des communes, cette dose efficace varie de 0,75 mSv/an à 47 mSv/an (voir encadré page 102).

La nouvelle obligation faite aux laboratoires d'analyse des détecteurs radon de transmettre à l'IRSN les résultats des mesurages et les résultats attendus de l'action 7 du 4^e plan national d'action de gestion du risque lié au radon (voir point 3.2), relative à la définition des modalités d'organisation pour la collecte des données de mesure du radon, doit permettre d'améliorer la connaissance des expositions au radon en France.

Zones à potentiel radon en France métropolitaine définies par l'arrêté du 27 juin 2018



02

03

04

05

06

07

08

09

10

11

12

13

14

15

AN

2.2 LES RAYONNEMENTS IONISANTS LIÉS AUX ACTIVITÉS HUMAINES

Les activités humaines impliquant des risques d'exposition aux rayonnements ionisants, appelées activités nucléaires, peuvent être regroupées selon la nomenclature suivante :

- l'exploitation des INB ;
- les activités nucléaires de proximité ;
- l'élimination des déchets radioactifs ;
- la gestion des sites contaminés ;
- le transport de substances radioactives ;
- les activités générant un renforcement des rayonnements ionisants d'origine naturelle.

2.2.1 Les installations nucléaires de base

Les activités nucléaires sont de nature très diverse et couvrent toute activité touchant à la mise en œuvre ou à l'utilisation de substances radioactives ou de rayonnements ionisants. Ces activités sont soumises à des dispositions générales du code de la santé publique et, selon leur nature et les risques qu'elles présentent,

à un régime juridique spécifique. Les INB sont définies à l'[article L. 593-2 du code de l'environnement](#) :

- 1° Les réacteurs nucléaires ;
- 2° Les installations répondant à des caractéristiques définies par décret en Conseil d'État, de préparation, d'enrichissement, de fabrication, de traitement ou d'entreposage de combustibles nucléaires ou de traitement, d'entreposage ou de stockage de déchets radioactifs ;
- 3° Les installations contenant des substances radioactives ou fissiles et répondant à des caractéristiques définies par décret en Conseil d'État ;
- 4° Les accélérateurs de particules répondant à des caractéristiques définies par décret en Conseil d'État ;
- 5° Les centres de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs mentionnés à l'[article L. 542-10-1 du code de l'environnement](#).

Les installations relèvent du [régime des INB](#), régi par les chapitres III et VI du titre IX du livre V du [code de l'environnement](#) et les textes pris pour leur application.

La liste des INB au 31 décembre 2023 figure en annexe de ce rapport.

La prévention des risques accidentels et la sûreté nucléaire

Le principe fondamental adopté internationalement sur lequel repose le système d'organisation et de réglementation spécifique de la [sûreté nucléaire](#) est celui de la responsabilité de l'exploitant (voir chapitre 2). Les pouvoirs publics veillent à ce que cette responsabilité soit pleinement assumée dans le respect des prescriptions réglementaires. Pour ce qui concerne la prévention des risques pour les travailleurs, l'exploitant d'une INB est tenu de mettre en œuvre tous les moyens nécessaires pour assurer la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants. Il doit en particulier s'assurer du respect des règles générales applicables à l'ensemble des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants (organisation du travail, prévention des accidents, suivi médical des travailleurs, y compris ceux des entreprises extérieures, etc.).

Pour les questions relevant de la protection de la population et de l'environnement, l'exploitant de l'INB doit également mettre en œuvre les moyens nécessaires pour atteindre et maintenir un niveau optimal de protection. Plus particulièrement, les rejets d'effluents liquides et gazeux, radioactifs ou non radioactifs, sont strictement limités (voir chapitre 3).

2.2.2 Le transport de substances radioactives

Lors du [transport de substances radioactives](#), les risques essentiels sont ceux d'exposition interne ou externe, de criticité ainsi que ceux de nature chimique. La sûreté du transport de substances radioactives s'appuie sur une logique de défense en profondeur :

- la robustesse et l'emballage est la première ligne de défense. L'emballage joue un rôle essentiel et doit résister aux conditions de transport envisageables, ainsi qu'aux effets des accidents susceptibles de se produire ;
- la fiabilité des opérations de transport constitue la deuxième ligne de défense ;
- enfin, la troisième ligne de défense est constituée par les moyens d'intervention mis en œuvre en cas d'incident ou d'accident.

2.2.3 Les activités nucléaires de proximité

Les rayonnements ionisants, qu'ils soient émis par des radionucléides ou générés par des appareils électriques, sont utilisés dans de très nombreux domaines dont la [médecine](#) (radiologie, radiothérapie, médecine nucléaire et pratiques interventionnelles radioguidées – PIR), la biologie, [la recherche](#), [l'industrie](#), mais aussi les applications vétérinaires, la stérilisation de nombreux produits, ou la conservation des denrées alimentaires.

L'employeur est tenu de mettre en œuvre tous les moyens nécessaires pour assurer la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants. L'exploitant de l'installation doit également mettre en place les dispositions prévues par le code de la santé publique pour assurer la gestion des sources de rayonnements ionisants qu'il détient (notamment les sources radioactives), assurer, le cas échéant, la gestion des déchets produits et limiter les rejets des effluents liquides et gazeux. Dans le cas d'utilisation à des fins médicales, les questions concernant la protection des patients sont également prises en compte.

2.2.4 La gestion des déchets radioactifs

Comme toutes les activités industrielles, les activités nucléaires peuvent créer des [déchets](#) dont certains sont radioactifs. Les

trois principes fondamentaux sur lesquels s'appuie une gestion rigoureuse des déchets radioactifs sont la responsabilité du producteur de déchets, la traçabilité des déchets et l'information du public.

Les dispositions techniques de gestion à mettre en œuvre doivent être adaptées au risque présenté par les déchets radioactifs. Ce risque peut être estimé principalement au travers de deux paramètres : l'activité, qui contribue à la toxicité du déchet, et la période, durée au bout de laquelle l'activité est divisée par deux.

Enfin, la gestion des déchets radioactifs doit être déterminée préalablement à toute création d'activité nouvelle ou modification d'activité existante afin de :

- s'assurer de la disponibilité de filières de traitement des différentes catégories de déchets susceptibles d'être produits, depuis la phase amont (production de déchets et conditionnement sous forme de colis) jusqu'à la phase aval (entreposage, transport, stockage) ;
- optimiser les filières de gestion de déchets.

2.2.5 La gestion des sites contaminés

La gestion des [sites contaminés](#) du fait d'une radioactivité résiduelle résultant d'une activité nucléaire passée ou d'une activité ayant produit des dépôts de radionucléides naturels justifie des actions spécifiques de radioprotection, notamment dans le cas où une réhabilitation est envisagée.

Compte tenu des usages actuels ou futurs du site, des objectifs de décontamination doivent être établis. L'élimination des déchets produits lors de l'assainissement des locaux ainsi que des terres contaminées doit être maîtrisée, depuis le site jusqu'à l'entreposage ou le stockage. La gestion des objets contaminés obéit également à ces principes.

2.2.6 Les activités utilisant des substances radioactives d'origine naturelle

Les expositions aux rayonnements ionisants d'origine naturelle, lorsqu'elles sont renforcées du fait des activités humaines, justifient des actions de contrôle, si elles sont susceptibles de générer un risque pour les travailleurs exposés et, le cas échéant, pour la population.

Ainsi, certaines activités incluses dans la définition des « activités nucléaires » peuvent avoir recours à l'utilisation de matériaux contenant des substances radioactives d'origine naturelle à des niveaux de concentration susceptibles d'accroître, de manière significative, l'exposition aux rayonnements ionisants des travailleurs et, dans une moindre mesure, des populations proches des lieux où sont exercées ces activités.

Les familles naturelles de l'uranium et du thorium sont les principaux radionucléides rencontrés dans ces industries ; on peut citer :

- la production pétrolière et gazière d'énergie géothermique, de dioxyde de titane, d'engrais phosphatés et de ciment ;
- l'extraction de terres rares et de granits ;
- les activités de fonderie d'étain, de plomb ou de cuivre.

Les actions de radioprotection à mener dans ce domaine visent les travailleurs (risque d'irradiation externe et de contamination interne, radon) mais aussi la population, par exemple, dans le cas de rejets d'effluents dans l'environnement ou de production de résidus susceptibles d'être réutilisés, notamment, dans les matériaux de construction. Depuis 2018, ces activités sont soumises au régime des installations classées pour la protection de l'environnement.

3 La surveillance des expositions aux rayonnements ionisants

Du fait de la difficulté d'attribuer un cancer au seul facteur de risque rayonnements ionisants, pour prévenir les cancers dans la population, une « surveillance du risque » est réalisée par la mesure d'indicateurs de la radioactivité ambiante (mesure des débits de dose par exemple), de la contamination interne ou, à défaut, par la mesure de grandeurs (activités dans les rejets d'effluents radioactifs) qui peuvent permettre ensuite de procéder, par la modélisation et le calcul, à une estimation des doses reçues par les populations exposées.

La totalité de la population française est exposée à des rayonnements ionisants d'origine naturelle ou ayant pour origine des activités humaines, mais de façon inégale sur le territoire. L'exposition moyenne de la population française est estimée à 6,5 mSv par personne et par an, mais cette exposition présente une grande variabilité individuelle (facteur de 1 à 20), notamment selon le lieu d'habitation (potentiel radon de la commune, niveau de rayonnements telluriques), le nombre d'exams radiologiques réalisés, les habitudes de consommation (tabac, denrées alimentaires) et de vie (voyages en avion). Le diagramme 1 représente une estimation des contributions respectives à la dose moyenne totale des différentes sources d'exposition aux rayonnements ionisants pour la population française, d'une part avec la prise en compte du coefficient de dose du radon prévu par la réglementation actuelle; d'autre part, avec le coefficient de dose du radon qui était en vigueur jusqu'au 31 décembre 2023.

3.1 LES DOSES REÇUES PAR LES TRAVAILLEURS

3.1.1 La surveillance des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants

Le système de surveillance des expositions des personnes susceptibles d'être exposées aux rayonnements ionisants, travaillant notamment dans les INB ou dans les installations relevant du nucléaire de proximité, est en place depuis plusieurs décennies.

Fondé principalement sur le port obligatoire du [dosimètre à lecture différée](#) pour les travailleurs susceptibles d'être exposés, il permet de vérifier le respect des limites réglementaires applicables aux travailleurs. Ces limites visent l'exposition totale (depuis 2003, la limite annuelle, exprimée en matière de dose efficace, est de 20 mSv sur douze mois consécutifs), obtenue en ajoutant la dose due à l'exposition externe et celle résultant d'une éventuelle contamination interne; d'autres limites, appelées « limites de dose équivalente », sont définies pour l'exposition externe de certaines parties du corps telles que les mains, la peau et le cristallin (voir rubrique « [Réglementer](#) » sur [asn.fr](#)).

Les données enregistrées permettent de connaître, pour chaque travailleur, y compris ceux des entreprises extérieures, la dose d'exposition cumulée sur une période déterminée ne pouvant dépasser trois mois. Elles sont rassemblées dans le système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants ([Siseri](#)) géré par l'IRSN et font l'objet d'une publication annuelle.

Les résultats de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants présentés ci-après sont issus du [bilan IRSN 2022](#), *La radioprotection des travailleurs – exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France*. Sur le plan méthodologique, comme pour les cinq années précédentes, le bilan IRSN 2022 de l'exposition externe a été exclusivement réalisé à partir des données de la surveillance individuelle de l'exposition externe des travailleurs

enregistrées dans la base Siseri. Jusqu'en 2016, les bilans étaient exclusivement élaborés par agrégation des synthèses annuelles demandées aux organismes de dosimétrie. En conséquence, les résultats de 2022 pour l'exposition externe ne sont directement comparables qu'à ceux établis à partir de l'année 2017. Afin de pouvoir néanmoins établir des tendances, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués avec la nouvelle approche méthodologique (voir tableau 3).

Les tableaux 1 et 2 présentent, par domaine d'activité et pour l'année 2022, la répartition des effectifs surveillés, de la dose collective (la dose collective est la somme des doses individuelles reçues par un groupe de personnes donné) et du nombre de dépassements de la limite annuelle de 20 mSv. Ils témoignent d'une grande disparité de la répartition des doses selon les secteurs.

Par exemple, le secteur des activités médicales (dont le secteur dentaire) et vétérinaires, qui regroupe une part importante des effectifs surveillés (59,5 %), ne représente que 11,4 % de la dose collective; par contre, le secteur de l'industrie du nucléaire civil qui ne représente que 20,7 % des effectifs, comptabilise 48,7 % de la dose collective. En outre, le secteur concerné par une exposition à la radioactivité naturelle (hors personnel navigant militaire), qui ne représente que 5,7 % de l'effectif total, comptabilise 33,2 % de la dose collective. Enfin, les secteurs de l'industrie non nucléaire et de la recherche représentent respectivement 4,1 et 2,7 % des effectifs et comptabilisent respectivement 3,2 et 0,4 % de la dose collective.

Le tableau 3 montre que, pour l'exposition externe, le nombre total de travailleurs⁷ suivis en 2022 est de 386 080, en diminution de 1,5 % par rapport à 2021. La dose collective est de 88,4 homme.Sv, valeur en hausse de 7 % par rapport à celle de 2021, elle-même en hausse de 14 % par rapport à celle de 2020, sans néanmoins retrouver la valeur de 2019 (112,3 homme.Sv). Cette augmentation concerne tous les domaines d'activité mais s'explique principalement par la reprise du trafic aérien avec l'amélioration des conditions sanitaires en lien avec la pandémie de Covid-19.

Concernant la dosimétrie des extrémités (doigts et poignets), le nombre de travailleurs suivis en 2022 est de 27 598, en baisse de 2,6 % par rapport en 2021 (soit 7,1 % de l'effectif suivi).

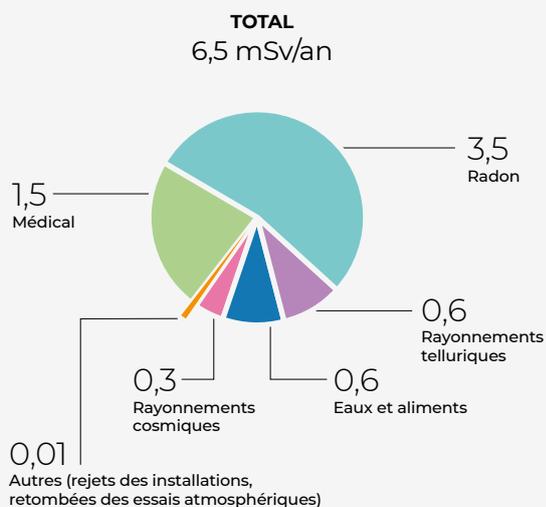
Pour ce qui concerne la surveillance dosimétrique au cristallin, qui était en progression depuis 2015, elle se stabilise depuis 2021. Elle a concerné 5 906 travailleurs en 2022.

En 2022, six dépassements de la limite réglementaire de 20 mSv pour la dose efficace corps entier ont été enregistrés dont deux ont été confirmés par le médecin du travail. Quatre dépassements de cette limite ont été enregistrés dans le domaine médical (trois en radiodiagnostic et un dans le secteur de la radiothérapie), dont l'un, confirmé par le médecin du travail, correspond au cumul de plusieurs doses en 2022 (exposition externe de 20 mSv sur douze mois glissants); les trois autres cas ont été retenus par défaut, en l'absence de retour du médecin du travail sur les conclusions d'enquête. Le cinquième dépassement a été enregistré dans le secteur de la recherche pour des cumuls de plusieurs doses en 2022 et confirmé par le médecin du travail. En revanche, le sixième dépassement enregistré dans le domaine de l'industrie non nucléaire n'a pas été confirmé par le médecin du travail.

Par ailleurs, deux dépassements de la limite réglementaire de la dose équivalente à la peau de 500 mSv ont été enregistrés, le premier dans le domaine médical, en médecine nucléaire, avec

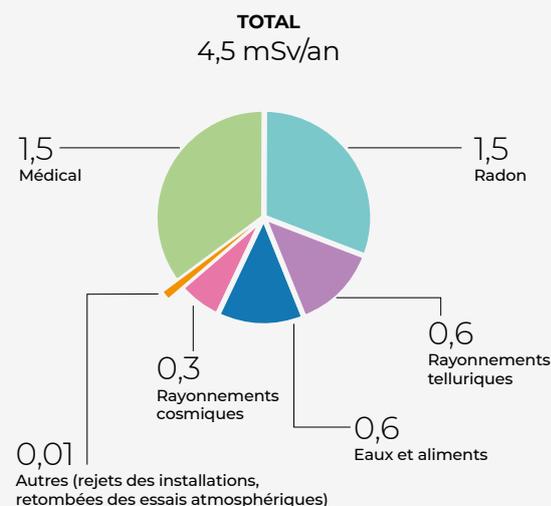
7. Le nombre total de travailleurs suivis comprend l'ensemble des travailleurs, y compris ceux issus des activités militaires et de défense.

DIAGRAMME 1A Exposition moyenne en tenant compte du coefficient de dose en vigueur



Source : IRSN, 2021.

DIAGRAMME 1B Exposition moyenne en tenant compte du coefficient de dose en vigueur antérieurement au 1^{er} janvier 2024



Source : IRSN, 2021.

une dose évaluée à 2,1 sieverts (Sv) et le second dans le secteur de la recherche (dose cumulée de 500 mSv).

Enfin, un dépassement de la limite réglementaire de la dose équivalente aux extrémités, confirmé par le médecin du travail, a été enregistré dans le [domaine médical](#) (PIR) avec un cumul de doses de 502,9 mSv.

En conclusion, comme les années précédentes, le bilan de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France en 2022, publié par l'IRSN en juin 2022, montre globalement l'efficacité du système de prévention mis en place dans les établissements où sont utilisées les sources de rayonnements ionisants puisque, pour presque 92,7% des effectifs surveillés, la dose annuelle est restée inférieure à 1 mSv (limite de dose efficace annuelle pour le public du fait des activités nucléaires). On notera également la diminution régulière depuis dix ans du

nombre de travailleurs les plus fortement exposés. Les dépassements des valeurs limites réglementaires restent exceptionnels.

La surveillance de l'exposition du cristallin avec, pour ce tissu, le respect de la nouvelle limite, constitue le principal objectif de la radioprotection dans les toutes prochaines années et notamment dans le domaine de la radiologie interventionnelle.

3.1.2 Cas de l'exposition des travailleurs à la radioactivité naturelle

Exposition aux substances radioactives d'origine naturelle et au radon d'origine géologique

L'exposition des travailleurs aux substances radioactives d'origine naturelle résulte de l'ingestion de poussières de matières riches en radionucléides (phosphates, minerais métallifères), de l'inhalation de radon, formé par la désintégration de l'uranium (entrepôts mal ventilés, thermes), ou encore de l'exposition externe due aux dépôts dans des procédés industriels (tartre se formant dans les tuyauteries par exemple).

En 2022, la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs dans les activités industrielles conduisant à une exposition aux substances radioactives d'origine naturelle ou au radon d'origine géologique (exposition aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium) a concerné 667 travailleurs suivis en exposition externe (dont 39 travailleurs exposés à plus de 1 mSv) et 311 travailleurs suivis en exposition interne (dont 18 ont été exposés à plus de 1 mSv).

Exposition des personnels navigants aux rayonnements cosmiques

Les personnels navigants de compagnies aériennes, ainsi que certains grands voyageurs, sont exposés à des doses significatives du fait de l'altitude et de l'intensité des rayonnements cosmiques à haute altitude. Ces doses peuvent dépasser 1 mSv/an.

Depuis le 1^{er} juillet 2014, l'IRSN réalise le calcul des doses individuelles pour les personnels navigants civils avec l'application *SievertPN*, à partir des données de vol et de présence des personnels fournies par les compagnies aériennes. Ces données sont ensuite transmises dans le registre national de dosimétrie des travailleurs Siseri.

Au 31 décembre 2022, *SievertPN* avait transmis la totalité des doses des personnels navigants à Siseri pour 14 compagnies aériennes civiles ayant adhéré au dispositif, conduisant à un total de 21 162 personnels navigants suivis par ce dispositif. En 2022, environ 33% des doses individuelles annuelles sont inférieures à 1 mSv et 66% des doses individuelles annuelles sont comprises entre 1 mSv et 5 mSv. La dose individuelle maximale annuelle est de 3,68 mSv.

En 2022, la dose collective a augmenté de 29,5% par rapport à 2021. Cette augmentation s'explique par une reprise du trafic aérien en 2022 après une amélioration de la situation sanitaire liée à la pandémie de Covid-19.

3.2 LES DOSES REÇUES PAR LA POPULATION

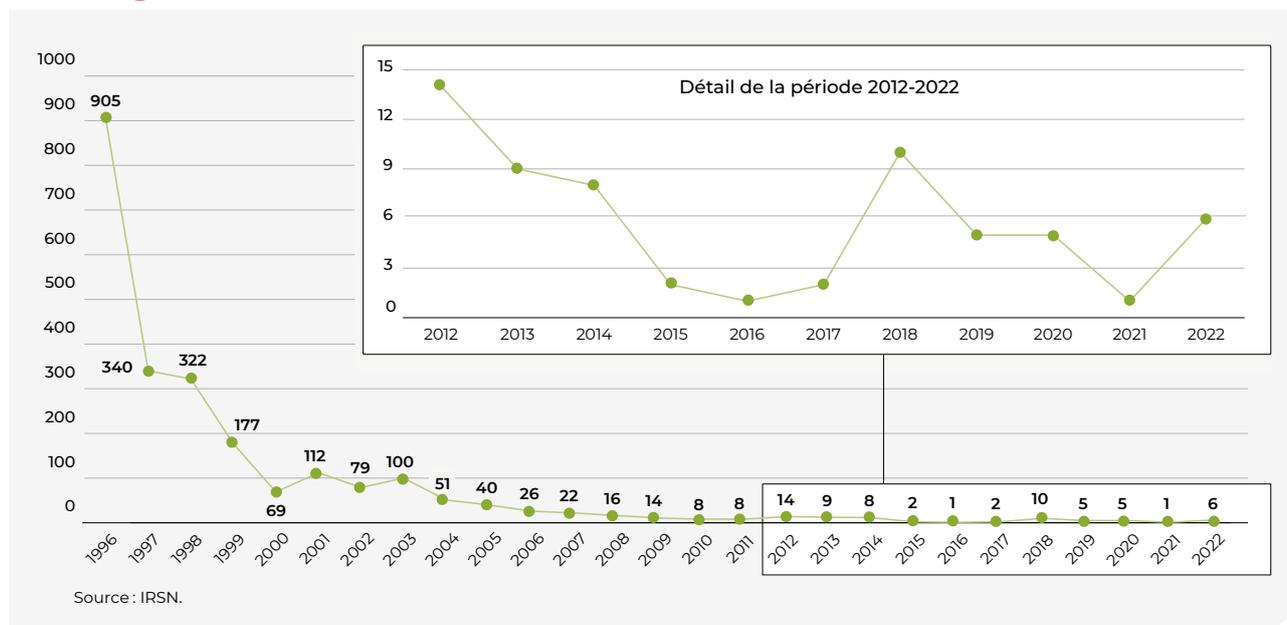
3.2.1 L'exposition de la population du fait des activités nucléaires

Les réseaux de surveillance automatisés gérés par l'IRSN sur l'ensemble du territoire (réseaux [Téléray](#), [HydroTéléray](#) et [Téléhydro](#)) permettent de surveiller en temps réel la radioactivité dans l'environnement et de mettre en évidence toute variation anormale. Ces réseaux de mesure joueraient un rôle prépondérant en cas d'incident ou d'accident conduisant à des rejets de substances radioactives, pour éclairer les décisions à prendre par les autorités et pour informer la population. En situation normale, ils participent à l'évaluation de l'impact des INB (voir chapitre 3).

En revanche, il n'existe pas de méthode globale de surveillance permettant de reconstituer de façon exhaustive les doses reçues par la population du fait des activités nucléaires. De ce fait, le respect de la limite d'exposition de la population (dose efficace fixée à 1 mSv par an) n'est pas directement contrôlable. Cependant, pour les INB, les rejets d'effluents radioactifs font l'objet d'une comptabilité précise, et une surveillance radiologique de l'environnement est mise en place autour des installations. À partir des données recueillies, l'impact dosimétrique de ces rejets sur

les populations vivant au voisinage immédiat des installations est ensuite calculé en utilisant des modèles permettant de simuler les transferts vers l'environnement. Les impacts dosimétriques varient selon le type d'installation et les habitudes de vie des personnes représentatives retenues, de quelques microsieverts à quelques dizaines de microsieverts par an ($\mu\text{Sv}/\text{an}$). L'évaluation des doses dues aux INB est présentée dans le tableau 4 dans lequel figurent, pour chaque site et par année, les doses efficaces estimées pour les personnes représentatives les plus exposées.

DIAGRAMME 2 Évolution du nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv de 1996 à 2022



BILAN DE LA SURVEILLANCE DOSIMÉTRIQUE DE L'EXPOSITION EXTERNE DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS (EXPOSITION À LA RADIOACTIVITÉ NATURELLE INCLUSE) EN 2022

(Source : La radioprotection des travailleurs : exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France, bilan 2022 – IRSN, juin 2023)

- Effectif total surveillé : **386 080 travailleurs**
- Effectif surveillé pour lequel la dose efficace annuelle est restée inférieure au seuil d'enregistrement : **287 517 travailleurs, soit 74,5%**
- Effectif surveillé pour lequel la dose efficace annuelle est restée comprise entre le seuil d'enregistrement et 1 mSv : **70 293 travailleurs, soit environ 18,2%**
- Effectif surveillé pour lequel la dose efficace annuelle est restée comprise entre 1 mSv et 20 mSv : **28 264 travailleurs, soit plus de 7,3% de l'effectif total suivi**
- Effectif surveillé pour lequel la dose efficace annuelle a dépassé 20 mSv : **6 travailleurs^(*)**
- Effectif surveillé pour lequel la dose équivalente aux extrémités a dépassé 500 mSv : **1 travailleur**
- Effectif surveillé pour lequel la dose équivalente à la peau a dépassé 500 mSv : **2 travailleurs**
- Effectif surveillé pour lequel la dose équivalente au cristallin a dépassé 100 mSv sur 5 ans : **aucun** (1 dépassement a été déclaré, mais la dose qui a conduit à ce dépassement a été annulée par le médecin du travail)
- Dose collective (somme des doses efficaces annuelles individuelles) : **88,43 homme.Sv**
- Dose efficace individuelle annuelle moyenne sur l'effectif ayant enregistré une dose supérieure au seuil d'enregistrement : **0,9 mSv**
- Effectif ayant fait l'objet d'une estimation dosimétrique : **522 travailleurs**
- Nombre d'exams de surveillance spéciale : **9 649** (dont 18% sont supérieurs au seuil d'enregistrement)
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée supérieure à 1 mSv : **4 travailleurs**

Bilan de la surveillance de l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2022

- Exposition interne :
 - dose collective pour 311 travailleurs : **73,89 homme.mSv**
 - dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif ayant enregistré une dose supérieure au seuil d'enregistrement : **0,42 mSv**

Bilan de la surveillance de l'exposition interne en 2022 (hors radioactivité naturelle)

- Nombre d'exams de routine réalisés : **231 030** (dont 0,5% considéré positif)

* Quatre de ces cas ont été retenus par défaut en l'absence de retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête.

Ces estimations ne sont pas connues pour les activités nucléaires autres que les INB, du fait des difficultés méthodologiques pour mieux connaître l'impact de ces installations et, notamment, l'impact des rejets contenant des faibles quantités de radionucléides artificiels provenant de l'utilisation des sources radioactives non scellées dans les laboratoires de recherche ou de biologie, ou dans les services de médecine nucléaire. À titre d'exemple, l'impact des rejets hospitaliers pourrait conduire à des doses de quelques dizaines de microsievverts par an pour les personnes les plus exposées, notamment pour certains postes de travail dans les réseaux d'assainissement et stations d'épuration (études IRSN 2005 et 2015).

Des situations héritées du passé telles que les essais nucléaires aériens et l'accident de Tchernobyl (Ukraine) peuvent contribuer, de manière très faible, à l'exposition de la population. Ainsi, l'exposition due aux retombées des essais nucléaires est estimée actuellement en France métropolitaine à 2,3 µSv/an (1,3 µSv/an pour le strontium-90 et 1 µSv/an pour le carbone-14; l'exposition liée au césium-137 ne peut être distinguée de celle des retombées de l'accident de Tchernobyl).

L'exposition globale due aux retombées des essais nucléaires et de l'accident de Tchernobyl est de 46 µSv/an pour les personnes résidant sur des zones de rémanence élevée de ces retombées et de 9,3 µSv/an pour celles résidant sur le reste du territoire, soit une dose moyenne par habitant de 12 µSv/an à l'échelle de l'ensemble du territoire (IRSN 2021).

TABEAU 1 Surveillance de l'exposition externe des travailleurs dans le domaine nucléaire civil (année 2022)

	NOMBRE DE PERSONNES SURVEILLÉES	DOSE COLLECTIVE (homme.Sv ⁽¹⁾)	DOSE INDIVIDUELLE > 20 mSv
Réacteurs et production d'énergie (EDF)	24 387	6,59	0
« Cycle du combustible » ; démantèlement	12 640	4,01	0
Transport	583	0,062	0
Logistique et maintenance (prestataires)	33 577	30,84	0
Effluents, déchets	738	0,11	0
Autres	7 995	1,44	0
Total nucléaire civil	79 920	43 055	0

* Homme.Sv: unité de grandeur de dose collective. Pour mémoire, la dose collective est la somme des doses individuelles reçues par un groupe de personnes donné.

(Source: La radioprotection des travailleurs: exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France, bilan 2022 – IRSN)

TABEAU 2 Surveillance de l'exposition externe des travailleurs dans les activités nucléaires de proximité (année 2022)

	NOMBRE DE PERSONNES SURVEILLÉES	DOSE COLLECTIVE (homme.Sv ⁽¹⁾)	DOSE INDIVIDUELLE > 20 mSv
Médecine	159 799	8,18	4 ⁽¹⁾
Dentaire	44 815	1,42	0
Vétérinaire	24 946	0,49	0
Industrie	15 887	2,84	1 ⁽²⁾
Recherche et enseignement	10 261	0,38	1
Naturel ^(**)	21 829	29,32	0
Total nucléaire de proximité	277 537	42,63	6

(1) Trois de ces cas ont été retenus par défaut en l'absence de retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête.

(2) Ce cas a été retenu par défaut en l'absence du retour du médecin du travail.

* Homme.Sv: unité de grandeur de dose collective.

** Le naturel recouvre le personnel navigant civil, ainsi que les travailleurs exposés aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium.

(Source: La radioprotection des travailleurs: exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France, bilan 2022 – IRSN)

TABEAU 3 Évolution des effectifs suivis et de la dose collective et individuelle moyenne sur l'effectif exposé de 2015 à 2022^(*) tous domaines confondus (A) ou sans le domaine « naturel » (B)

ANNÉE	EFFECTIF SUIVI		DOSE COLLECTIVE (homme.Sv)		DOSE INDIVIDUELLE MOYENNE (mSv)	
	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)
2015 ^(*)	372 881	352 641	104,41	65,61	0,98	0,76
2016 ^(*)	378 304	357 527	107,53	66,71	0,96	0,73
2017	384 198	360 694	100,58	53,52	1,03	0,72
2018	390 363	365 980	104,14	55,24	1,12	0,80
2019	395 040	369 712	112,31	58,73	1,20	0,85
2020	387 452	364 614	72,43	49,97	0,78	0,71
2021	392 180	370 756	82,71	60,09	0,85	0,78
2022	386 080	363 595	88,43	59,01	0,9	0,77

* À des fins de comparaison, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement avec la nouvelle approche méthodologique.

(Source: La radioprotection des travailleurs: exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France, bilan 2022 – IRSN, juin 2023)

TABEAU 4 Impact radiologique des INB depuis 2017, calculé par les exploitants à partir des rejets réels des installations et pour une « personne représentative » des personnes les plus exposées au sein de la population (données fournies par les exploitants nucléaires)

EXPLOITANT/SITE	PERSONNES REPRÉSENTATIVES EN 2022	DISTANCE AU SITE en km	ESTIMATION DES DOSES REÇUES, en mSv ^(a) (les valeurs, calculées par l'exploitant, sont arrondies à l'unité supérieure)					
			2017	2018	2019	2020	2021	2022
Andra / CSA	Groupe multi-activité Ville-aux-Bois	1,7	2.10 ⁻⁶	3.10 ⁻⁷	3.10 ⁻⁷	4.10 ⁻⁷	3.10 ⁻⁷	2.10 ⁻⁷
Andra / Centre de stockage de la Manche	Hameau de La Fosse	2,5	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴
CEA / Cadarache ^(b)	Saint-Paul-lez-Durance	5	<2.10 ⁻³	<3.10 ⁻³	<2.10 ⁻³	<6.10 ⁻⁴	<5.10 ⁻⁴	<6.10 ⁻⁴
CEA / Fontenay-aux-Roses ^(b)	Achères	30	<2.10 ⁻⁴	<2.10 ⁻⁴	<2.10 ⁻⁴	<2.10 ⁻⁴	<2.10 ⁻⁴	<2.10 ⁻⁴
CEA / Grenoble ^(c)	–	–	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)
CEA / Marcoule ^(b) (Atalante, Centraco, Phénix, Melox, CIS bio)	Codolet	2	<2.10 ⁻³	<2.10 ⁻³	<2.10 ⁻³	<2.10 ⁻³	<2.10 ⁻⁴	<2.10 ⁻³
CEA / Saclay ^(b)	Le Christ de Saclay	1	<2.10 ⁻³	<2.10 ⁻³	<4.10 ⁻³	<2.10 ⁻³	<2.10 ⁻³	<8.10 ⁻⁴
EDF / Belleville-sur-Loire	Beaulieu-sur-Loire	1,8	3.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴
EDF / Blayais	Braud et Saint-Louis	2,5	4.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴
EDF / Bugey	Vernas	1,8	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	9.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴
EDF / Cattenom	Kœnigsmacker	4,8	8.10 ⁻³	9.10 ⁻³	1.10 ⁻²	7.10 ⁻³	7.10 ⁻³	5.10 ⁻³
EDF / Chinon	La Chapelle-sur-Loire	1,6	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴
EDF / Chooz	Chooz	1,5	4.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴
EDF / Civaux	Valdivienne	1,9	8.10 ⁻⁴	8.10 ⁻⁴	2.10 ⁻³	1.10 ⁻³	1.10 ⁻³	1.10 ⁻⁴
EDF / Creys-Malville	Creys-Mépieu	0,95	1.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁵	8.10 ⁻⁶	2.10 ⁻⁵	4.10 ⁻⁶
EDF / Cruas-Meyssse	Savasse	2,4	4.10 ⁻⁴	3.10 ⁻³	3.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴
EDF / Dampierre-en-Burly	Lion-en-Sulias	1,6	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴
EDF / Fessenheim	Fessenheim	1,3	2.10 ⁻⁵	5.10 ⁻⁵	4.10 ⁻⁵	3.10 ⁻⁵	7.10 ⁻⁶	5.10 ⁻⁶
EDF / Flamanville	Flamanville	0,8	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁵	6.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁴
EDF / Golfech	Valence	3,4	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴
EDF / Gravelines	Grand-Fort-Philippe	2,5	5.10 ⁻⁴	8.10 ⁻⁴	1.10 ⁻³	8.10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁴	1.10 ⁻³
EDF / Nogent-sur-Seine	Saint-Nicolas-la-Chapelle	2,3	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	6.10 ⁻⁴
EDF / Paluel	Paluel	1,1	3.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	9.10 ⁻⁴
EDF / Penly	Berneval-le-Grand	3,1	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	9.10 ⁻⁴
EDF / Saint-Alban / Saint-Maurice	Saint-Maurice-l'Exil	1,7	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴
EDF / Saint-Laurent-des-Eaux	Lestiou	1,7	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	9.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁴
EDF / Tricastin	Bollène	1,3	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴
Framatome Romans	Ferme Riffard	0,2	2.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁵	3.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁵
Ganil / Caen	IUT	0,6	8.10 ⁻³	8.10 ⁻³	7.10 ⁻³	7.10 ⁻³	7.10 ⁻³	7.10 ⁻³
ILL / Grenoble	Fontaine (rejets gazeux) et Saint-Égrève (rejets liquides)	1 et 1,4	5.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁵	3.10 ⁻⁵	5.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁵
Orano Cycle / La Hague	Digulleville	2,8	2.10 ⁻²	2.10 ⁻²	2.10 ⁻²	1.10 ⁻²	1.10 ⁻²	1.10 ⁻²
Orano / Tricastin (Comurhex, Eurodif, Socatri, SET)	Les Girardes	1,2	2.10 ⁻⁴	9.10 ⁻⁵	8.10 ⁻⁵	4.10 ⁻⁵	6.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁴

a Pour les installations exploitées par EDF, jusqu'en 2008, seules les valeurs « adultes » étaient calculées. De 2010 à 2012, la dose de la personne représentative la plus exposée de chaque site parmi deux classes d'âge (adulte ou nourrisson) est mentionnée. À partir de 2013, la dose du groupe de référence est réalisée sur trois classes d'âge (adulte, enfant, nourrisson) pour toutes les INB. La valeur de dose indiquée est la valeur la plus contraignante des classes d'âge.

b Pour les sites de Cadarache, Saclay, Fontenay-aux-Roses et Marcoule, les estimations de dose renseignées dans le tableau résultent d'une somme des estimations de dose transmises par le CEA. Ces estimations comportant au moins un terme inférieur à 0,01 µSv, les valeurs indiquées sont précédées du signe « inférieur à (<) ».

c Le site n'ayant plus de rejets radioactifs depuis 2014, l'impact radiologique induit par les rejets radioactifs est donc nul depuis 2014.

En ce qui concerne les retombées en France de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima (Japon), les résultats publiés en France par l'IRSN en 2011 avaient montré la présence d'iode radioactif à des niveaux très faibles, conduisant pour les populations à des doses efficaces estimées inférieures à 2 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ en 2011.

3.2.2 L'exposition de la population aux rayonnements naturels

L'exposition due à la radioactivité naturelle des eaux de consommation

Les résultats de la surveillance de la qualité radiologique des eaux distribuées au robinet, exercée par les agences régionales de santé en 2008 et 2009 ([rapport DGS/ASN/IRSN](#) publié en 2011) ont montré que 99,83% de la population bénéficie d'une eau dont la qualité respecte en permanence la dose indicative de 0,1 mSv/an, fixée par la réglementation. Cette appréciation globalement satisfaisante s'applique également à la qualité radiologique des eaux conditionnées produites en France ([rapport DGS/ASN/IRSN](#) publié en 2013).

Depuis 2019, la mesure du radon contenue dans les eaux du robinet et dans les eaux embouteillées est obligatoire. Pour accompagner cette nouvelle disposition, une instruction a été établie en concertation avec l'ASN et diffusée en 2018 aux agences régionales de santé par la Direction générale de la santé (DGS) ([avis n°2018-AV-0302 de l'ASN du 6 mars 2018](#) sur les modalités de gestion du radon dans le cadre du contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine).

L'exposition due au radon

En France, la réglementation relative à la gestion du risque lié au radon, mise en place à partir du début des années 2000 pour certains établissements recevant du public (ERP), a été étendue en 2008 à certains lieux de travail. En 2016, le radon a été introduit dans la politique de la qualité de l'air intérieur.

La transposition de la [directive n°2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013](#) fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants a conduit à modifier les dispositions applicables au radon depuis le 1^{er} juillet 2018. Un niveau de référence à 300 Bq/m³ a été introduit. Il est applicable à toutes les situations, ce qui permet de gérer le risque sanitaire lié au radon par une approche globale. La réglementation s'est étoffée avec des dispositions concernant les trois secteurs principaux :

- pour le grand public, une avancée significative a été introduite : le radon est désormais intégré dans l'information des acquéreurs et locataires de biens immobiliers situés dans les zones où le potentiel radon est susceptible d'être le plus important (zone 3) ;
- dans les lieux de travail, la réglementation a été étendue aux activités professionnelles exercées au rez-de-chaussée (seules les activités exercées en sous-sols étaient jusqu'à présent concernées) ainsi que dans certains lieux spécifiques de travail. Quelle que soit la zone à potentiel radon où se situe le lieu de travail, l'évaluation des risques doit prendre en compte le radon. Au besoin, un mesurage peut être réalisé dans ce cadre, s'il y a un risque d'atteinte ou de dépassement du niveau de référence de 300 Bq/m³. Si le niveau de référence est dépassé, l'employeur doit agir pour réduire l'activité volumique en radon. Si les actions se révèlent inefficaces, il doit identifier d'éventuelles « zones radon », dès lors que la dose reçue par les travailleurs excède 6 mSv/an en supposant une présence permanente des travailleurs, puis mettre en œuvre des mesures de radioprotection, si nécessaire en fonction de l'exposition des travailleurs ;

- dans certains ERP, des ajustements ont été apportés aux modalités de gestion du radon avec notamment l'ajout des établissements d'accueil d'enfants de moins de 6 ans dans le dispositif et une obligation d'informer le public par affichage des résultats de mesurage⁽⁸⁾. La nature des actions à mettre en œuvre en cas de dépassement du niveau de référence de 300 Bq/m³ est graduée en fonction des résultats des mesurages : actions correctives simples en cas de concentration de radon comprise entre 300 et 1000 Bq/m³, expertise et travaux si les actions correctives ne permettent pas d'abaisser la concentration de radon en deçà du niveau de référence ou si les résultats de mesurage sont supérieurs ou égaux à 1000 Bq/m³.

L'ASN délivre des agréments aux organismes qui mesurent le radon dans certains ERP. En 2023, 42 agréments ont été délivrés, dont 34 de niveau 1 et 8 de niveau 2, portant leur nombre total à 77, dont 15 agréés de niveau 2 au 13 octobre 2023. La liste est disponible au *Bulletin officiel* de l'ASN sur [asn.fr](#). Les organismes de niveau 1 réalisent les mesurages pour évaluer la concentration moyenne annuelle dans les bâtiments. En cas de dépassement du niveau de référence, des mesurages supplémentaires, correspondant au niveau 2 des agréments, peuvent être effectués. Ils permettent de rechercher les sources, les voies d'entrée et de transfert du radon dans les bâtiments. Ils sont mis en œuvre en appui de l'expertise, notamment pour les bâtiments de grande surface au sol avec des soubassements complexes. Sur les quatre dernières années, entre 40 et 100 mesurages supplémentaires ont été effectués chaque année.

Les données transmises chaque année à l'ASN par ces organismes dans leur rapport annuel portent sur les mesurages réalisés dans les ERP soumis à la surveillance de l'exposition du public, définis à l'[article D. 1333-32 du code de la santé publique](#) (agrément de niveau 1). L'analyse des données sur les sept dernières campagnes de mesurages montre une tendance à l'amélioration de la situation avec une diminution progressive du nombre d'établissements présentant un dépassement du niveau de référence de 300 Bq/m³ et du niveau de 1000 Bq/m³ dans le cadre des mesurages initiaux et décennaux (voir diagramme 3). Lors de la dernière campagne 2022-2023, la concentration volumique en radon était inférieure au niveau de référence de 300 Bq/m³ dans 77% des établissements d'enseignement mesurés, 86% des établissements d'accueil des enfants de moins de 6 ans, 86% des établissements sanitaires, sociaux et médico-sociaux et dans 60% des établissements thermaux (aucun établissement pénitentiaire n'a fait l'objet de mesurage).

En cas de dépassement du niveau de référence, l'établissement est tenu de réaliser des actions correctives ou des travaux, puis d'en vérifier l'efficacité par un nouveau mesurage. L'analyse des résultats sur les sept dernières années montre une amélioration tendancielle de la situation avec une augmentation progressive du nombre d'établissements qui parviennent à revenir au-dessous du niveau de référence de 300 Bq/m³. Cette amélioration peut être attribuée à une meilleure efficacité des travaux conduits, à la baisse des niveaux initiaux de concentration en radon, ou à une combinaison de ces deux facteurs (voir diagramme 4).

Pour les sept dernières campagnes de mesurages, les catégories d'établissements ayant fait l'objet de mesurages initiaux ou décennaux se répartissent de la façon suivante : 60% d'établissements d'enseignement (de la maternelle au lycée), 11% d'établissements d'accueil d'enfants de moins de 6 ans, 28% d'établissements sanitaires, sociaux et médico-sociaux et moins de 1% d'établissements thermaux et pénitentiaires (voir diagramme 5).

8. Arrêté du 26 février 2019 relatif aux modalités de gestion du radon dans certains établissements recevant du public et de diffusion de l'information auprès des personnes qui fréquentent ces établissements.

Plus globalement, la stratégie de gestion du risque lié au radon est déclinée dans un plan national d'action. Sa mise en œuvre doit permettre d'améliorer l'information du grand public et des acteurs concernés, de progresser dans la connaissance de l'exposition au radon dans l'habitat et son évolution.

Le [4^e plan national d'action pour la période 2020-2024](#) a été publié début 2021. Il s'inscrit dans le cadre du 4^e plan national santé environnement qui coordonne désormais tous les plans sectoriels portant sur la santé ou l'environnement, lui-même porté par la stratégie nationale de santé publique 2018-2022, dont l'une des actions vise à réduire l'exposition aux pollutions intérieures.

Cette action vise explicitement les effets du radon dans l'habitat : « *Au-delà de l'insalubrité, il s'agit de promouvoir les conditions d'un habitat favorable à la santé et de réduire les effets des expositions dans l'habitat (pollution chimique, radon, etc.)*. »

Ce plan s'inscrit dans la continuité des plans précédents (le bilan du 3^e plan est disponible sur [asn.fr](#)). Il se décline en 13 actions regroupées autour de trois axes :

L'axe 1 vise à mettre en place une stratégie d'information et de sensibilisation. L'enjeu sanitaire que représente le radon nécessite de poursuivre les actions de sensibilisation et d'information en direction de l'ensemble des acteurs (collectivités territoriales, employeurs, professionnels du bâtiment, professionnels de santé, enseignants, etc.) et du grand public, tant au niveau national que local, avec la promotion et l'accompagnement des actions territoriales de gestion intégrée du risque lié au radon dans l'habitat.

Les fumeurs feront l'objet d'une communication spécifique, car ils constituent la population la plus à risque de développer un cancer du poumon lié à une exposition cumulée au radon et au tabac. La mise en œuvre opérationnelle du système d'information regroupant l'ensemble des résultats de mesures de radon, ainsi que la consolidation et la centralisation des mesures existantes, apparaissent par ailleurs essentielles pour l'information de la population.

L'axe 2 vise à poursuivre l'amélioration des connaissances. La publication en 2018 d'une nouvelle cartographie à l'échelle communale, fondée sur trois zones à potentiel radon, a permis la mise en œuvre d'une approche graduée de la gestion du risque radon. Cette cartographie doit toutefois être améliorée de manière à mieux prendre en compte certains facteurs géologiques particuliers pouvant faciliter le transfert du radon vers les bâtiments (zones karstiques en particulier). De plus, le 4^e plan radon prévoit d'actualiser à terme la connaissance de l'exposition de la population en France en organisant la collecte des données de mesures réalisées, notamment dans le cadre des opérations locales de sensibilisation organisées par les agences régionales de santé (ARS) et les collectivités territoriales pour couvrir les zones où les données sont insuffisantes. Ces opérations consistent à proposer des kits de dépistage aux habitants d'un territoire donné pour les sensibiliser au risque radon.

Enfin l'axe 3 doit permettre de mieux prendre en compte la gestion du risque radon dans les bâtiments. Afin d'accompagner la montée en compétence des adhérents des organisations de professionnels du bâtiment, ces dernières ont récemment développé des formations abordant les méthodes de prévention et de réduction de la concentration et divers supports pour répondre aux besoins. Les différents outils francophones ont été recensés. Pour compléter l'offre, un [guide](#) destiné aux professionnels et aux particuliers a été publié en 2023. Il propose des recommandations en matière de prévention dans les constructions neuves et de remédiation dans les bâtiments existants (voir encadré page suivante). Les avancées dans la connaissance de l'efficacité des normes de construction sur la réduction de la concentration en radon dans l'air intérieur seront consolidées.

DIAGRAMME 3 Évolution de la répartition des mesurages initiaux et décennaux par tranche de résultats depuis 2016

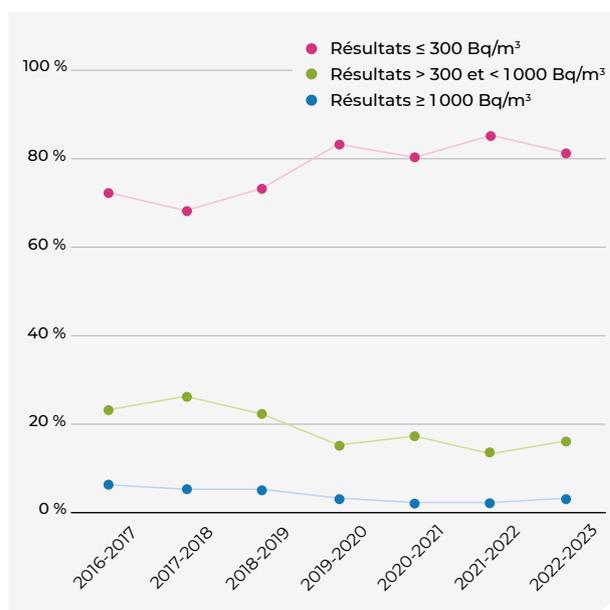
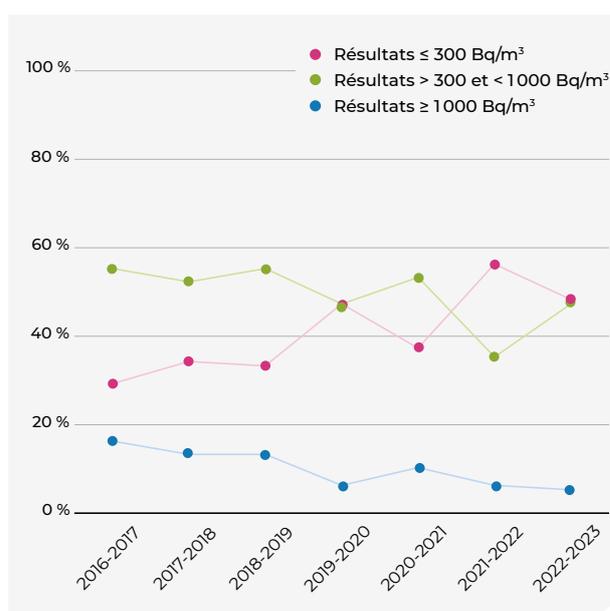


DIAGRAMME 4 Évolution de la répartition des mesurages après actions correctives et travaux par tranche de résultats depuis 2016



Un système d'indicateurs spécifiques, choisis en fonction de leur pertinence et des données disponibles permettant leur suivi a été mis en place. Leur évolution sur plusieurs années permettra de suivre l'efficacité de la stratégie nationale mise en œuvre dans le cadre du plan national d'action.

3.3 LES DOSES REÇUES PAR LES PATIENTS

En France, l'exposition à des fins médicales représente la part la plus importante des expositions artificielles de la population aux rayonnements ionisants. Elle fait l'objet depuis 2002 d'un bilan régulier par l'IRSN. Si l'exposition progresse depuis 30 ans, elle tend à se stabiliser depuis 2012 alors que, dans le même temps, le nombre d'actes a fortement augmenté. La médecine nucléaire, troisième contributeur à la dose efficace collective, est la modalité

LA PROTECTION DES BÂTIMENTS VIS-A-VIS DU RADON : UN GUIDE ACCESSIBLE À TOUS



Afin de sensibiliser les professionnels du bâtiment (maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, architectes, entreprises, distributeurs, etc.), l'ASN met à leur disposition un

guide présentant de façon synthétique les moyens de protection des bâtiments vis-à-vis du radon. Ce guide s'adresse également aux particuliers qui veulent se renseigner sur les travaux à réaliser. La partie technique de ce document a été élaborée par le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB). Le guide est composé de deux parties concernant, d'une part, les bâtiments existants et, d'autre part, les projets de construction :

- **pour les bâtiments existants**, la mise en place d'actions correctives efficaces

consiste en général en une adaptation et une combinaison judicieuse de trois types de solutions génériques : étanchéité à l'air du soubassement et des réseaux, ventilation du bâtiment et traitement du soubassement par ventilation ou mise en dépression. Un logigramme est proposé pour aider au choix des actions correctives appropriées en fonction de la concentration en radon dans l'air intérieur mesurée dans les locaux ;

- **pour les bâtiments à construire**, notamment en zone à potentiel radon significatif, l'utilisation de moyens de prévention est pertinente. Il est important d'intégrer ces moyens dès la conception du bâtiment, afin d'assurer une bonne efficacité pour un coût marginal. Ainsi, le projet de construction peut parfois être amélioré en évitant certaines conceptions favorables à l'entrée du radon (éviter les niveaux

enterrés, éviter la communication entre sous-sol et volumes occupés par exemple). Des actions préventives complémentaires possibles consistent par exemple en une ventilation du vide sanitaire ou du sous-sol, voire en la mise en place d'un système de dépressurisation du sol. Dans tous les cas, l'étanchement des soubassements doit être soigné.

À l'issue des travaux, qu'il s'agisse de travaux de réduction dans un bâtiment existant ou de la construction du nouveau bâtiment, l'efficacité des actions entreprises doit être vérifiée par un mesurage de la concentration en radon dans les locaux, en utilisant un détecteur qui doit rester en place pendant au moins deux mois, de préférence entre le 15 septembre et le 30 avril.

ayant connu l'augmentation la plus importante entre 2012 et 2017, à la fois en fréquence et en contribution à la dose efficace collective.

La dose efficace moyenne par habitant du fait des examens radiologiques à visée diagnostique a été évaluée à 1,53 mSv pour l'année 2017 (Étude ExPRI - IRSN 2020) pour un volume d'actes diagnostiques de l'ordre de 85 millions en 2017 (81,6 millions en 2012), soit 1 187 actes pour 1 000 bénéficiaires et par an. Il faut noter que l'exposition individuelle en 2017 comme auparavant est très hétérogène. Ainsi, si environ 32,7 % de la population française a bénéficié d'au moins un acte (hors actes dentaires), la moitié des patients reçoit une dose inférieure ou égale à 0,1 mSv, 75 % reçoit 1,5 mSv ou moins, tandis que les 5 % des patients les plus exposés reçoivent une dose supérieure à 18,1 mSv.

La radiologie conventionnelle (55,1%), la scanographie (12,8%) et la radiologie dentaire (29,6%) regroupent le plus grand nombre d'actes. C'est la contribution de la scanographie à la dose efficace collective qui reste prépondérante et plus significative

en 2017 (75%) qu'en 2012 (71%), alors que celle de la radiologie dentaire reste très faible (0,3%).

Chez les adolescents, les actes de radiologie conventionnelle et dentaire sont les plus nombreux (environ 1 000 actes pour 1 000 individus en 2017). Malgré leur fréquence, ces actes dans cette population ne représentent que 0,5% de la dose collective.

On notera enfin :

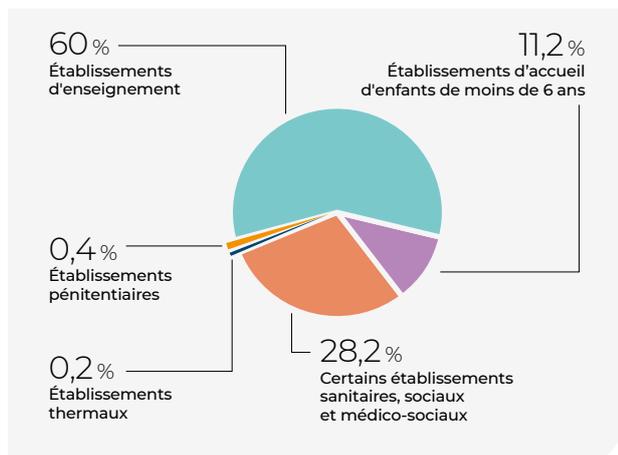
- un effectif national estimé à plus de 30 000 patients a été exposé à une dose efficace cumulée de plus de 100 mSv en 2017 en raison d'examens scanners multiples. Ce chiffre atteint 500 000 si une durée de cumul de six ans est considérée. Cette population fortement exposée semble être en augmentation régulière et relativement rapide depuis 2012. L'essentiel de cette population est âgée, cependant un quart a moins de 55 ans. La question des éventuels effets radio-induits à long terme se pose donc pour cette population spécifique. Il est utile de rappeler que ces patients sont souvent suivis pour des pathologies lourdes et que les examens scanner sont importants pour leur prise en charge ;
- à partir d'un échantillon de 120 000 enfants nés entre 2000 et 2015, l'IRSN rapporte qu'en 2015, 31,3% des enfants de l'échantillon ont été exposés aux rayonnements ionisants à des fins diagnostiques (en hausse de 2% par rapport à l'année 2010). La dose efficace moyenne est estimée à 0,43 mSv et la médiane à 0,02 mSv (en baisse pour la moyenne, mais équivalente pour la valeur médiane). Selon la catégorie d'âge, cette valeur médiane varie fortement. Pour les moins d'un an, elle est de 0,55 mSv (valeur la plus haute) et entre 6-10 ans elle est égale à 0,012 mSv.

Il faut cependant tenir compte dans ces études des incertitudes importantes sur les valeurs de dose efficace moyenne par type d'acte, ce qui justifie de progresser dans les estimations de doses lors de la prochaine étude d'exposition de la population générale.

Une attention particulière doit être exercée pour contrôler et réduire les doses liées à l'imagerie médicale diagnostique, notamment lorsque des techniques alternatives peuvent être utilisées pour une même indication.

La maîtrise des doses de rayonnements ionisants délivrées aux personnes lors d'un examen médical reste une priorité pour l'ASN.

DIAGRAMME 5 Répartition des mesurages initiaux et décennaux par catégorie d'ERP de 2016-2017 à 2022-2023



3.4 L'EXPOSITION DES ESPÈCES NON HUMAINES (ANIMALES ET VÉGÉTALES)

Le système international de radioprotection a été construit en vue d'assurer la protection de l'homme vis-à-vis des effets des rayonnements ionisants. La prise en compte de la radioactivité dans l'environnement est jusqu'à présent évaluée par rapport à son impact sur les êtres humains et, en l'absence d'élément contraire, il est aujourd'hui considéré que les normes actuelles garantissent la protection des autres espèces. La protection de l'environnement vis-à-vis du risque radiologique, et notamment la protection des espèces non humaines, doit toutefois pouvoir être garantie indépendamment des effets sur l'homme. Rappelant que cet objectif est déjà intégré dans la législation nationale, l'ASN veille à ce que l'impact des rayonnements ionisants sur les espèces non humaines soit effectivement pris en compte dans les études d'impact des installations

et activités nucléaires. À partir du rapport d'expertise de l'IRSN, le Groupe permanent d'experts pour la radioprotection des travailleurs et du public (GPRADE, désormais appelé GPRP) a adopté un avis en septembre 2015. Suivant les recommandations de cet avis, l'ASN a mis en place à la fin de l'année 2017 un groupe de travail pluraliste et pluridisciplinaire piloté par l'IRSN pour élaborer un guide méthodologique de l'évaluation de l'impact des rayonnements ionisants sur la faune et la flore, fondé sur une approche graduée. Le projet de *Guide méthodologique pour l'évaluation du risque radiologique pour la faune et la flore sauvages – Concepts, éléments de base et mise en œuvre au sein de l'étude d'impact* a été remis à l'ASN à la fin de l'année 2020 et présenté au GPRADE en juin 2021. La version finale du *guide* a été publiée en janvier 2022 sur le site de l'ASN, prenant en compte les recommandations de l'*avis du GPRADE* sur le caractère opérationnel de la méthodologie présentée.

TABLEAU 5 Nombre d'actes et dose efficace collective associée pour chaque modalité d'imagerie (valeurs arrondies) en France en 2017

MODALITÉ D'IMAGERIE	ACTES		DOSE EFFICACE COLLECTIVE TOTALE : 102198 Sv
	Nombre	%	%
Radiologie conventionnelle (hors dentaire)	46 681 000	55,1	11,8
Radiologie dentaire	25 023 000	29,6	0,3
Scanographie	10 866 000	12,8	74,2
Radiologie interventionnelle diagnostique	435 000	0,5	2,4
Médecine nucléaire	1 662 000	2	11,3
Total	84 667 000	100,0	100,0

Source: IRSN 2020.

ACTIONS DE L'ASN POUR LA PRÉVENTION DU RISQUE LIÉ AU RADON DANS LES TERRITOIRES



Les divisions territoriales de l'ASN les plus concernées par le risque radon (avec un nombre important de communes situées en zone à potentiel radon significatif sur le territoire), ont continué à mener, en 2023, des actions de sensibilisation sur le risque lié au radon à destination des élus, des professionnels du bâtiment, des employeurs, des responsables d'ERP et du grand public avec l'appui d'autres administrations concernées (Dreal, ARS, Dcrets) et d'organisations partenaires (Cerema, associations professionnelles, collectivités locales, etc.).

En parallèle, les actions de contrôle ciblant les lieux de travail spécifiques et les grands gestionnaires de parcs d'ERP engagées depuis plusieurs années se sont poursuivies.

* Division de Lille (Hauts-de-France) : à l'exception de quelques communes du Nord et du Pas-de-Calais, la région est en zone radon à potentiel faible.

** Division de Paris (Île-de-France) : l'ensemble de la région est en zone radon à potentiel faible.

*** Division d'Orléans (Centre-Val de Loire) : à l'exception de quelques communes du sud des départements du Cher et de l'Indre, la région est en zone radon à potentiel faible.

ACTIONS DE SENSIBILISATION

AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

DIVISION DE LYON

- Participation à une action de sensibilisation des services de prévention et de santé au travail (SPST) dans le cadre du plan régional de santé au travail (PRST) 4.

BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ

DIVISION DE DIJON

- Participation à la montée en puissance du réseau régional santé/environnement « Éclaireurs QAI-radon » (mise en place et lancement d'une feuille de route). Créé en 2022, ce réseau vise à structurer et dynamiser les actions conduites en Bourgogne-Franche-Comté concernant l'amélioration de la qualité de l'air intérieur (radon y compris).

BRETAGNE / PAYS DE LA LOIRE

DIVISION DE NANTES

- Cofinancement, en Pays de la Loire, de plusieurs actions d'accompagnement des particuliers à la réalisation de campagnes de mesure volontaires du radon dans l'habitat et participation aux réunions publiques de lancement.

- Contribution aux groupes de travail des plans régionaux santé environnement (PRSE) et des PRST des deux régions. Dans ce cadre, en Pays de la Loire, réalisation d'une interview pour le film-bilan

du PRSE3, participation à l'élaboration d'un film d'animation sur le radon en milieu professionnel et à la rédaction d'une foire aux questions destinés aux employeurs de la région.

- Cofinancement et participation à une matinale d'information sur le radon à destination des propriétaires et/ou gestionnaires d'ERP et employeurs à Pontivy (56) lors de la Journée européenne du radon le 7 novembre.

- Visite conjointe avec l'ARS en juillet au sein d'un foyer en Maine et Loire ayant enregistré un fort dépassement lors de la campagne hivernale 2022-2023.

GRAND EST

DIVISIONS DE STRASBOURG ET DE CHÂLONS-EN-CHAMPAGNE

- Participation aux actions du PRST de la région portant sur le radon.

NOUVELLE-AQUITAINE / OCCITANIE

DIVISION DE BORDEAUX

- Participation à une action d'information des préventeurs de la région Nouvelle-Aquitaine lors d'un webinar sur la réglementation relative à l'exposition au radon organisé dans le cadre du PRST4.

- Participation aux réunions de préparation des PRSE4 Nouvelle-Aquitaine et Occitanie.

- Présentation de la réglementation relative à l'exposition au radon des travailleurs lors des journées scientifiques du « Réseau Sud-Ouest des Personnes Compétentes en Radioprotection & Acteurs de la Radioprotection ».

NORMANDIE

DIVISION DE CAEN

- Participation avec la Dreets, l'ARS et les services de santé au travail de l'Ouest de la Normandie à la construction d'une formation dédiée aux services de santé au travail sur la prise en compte dans les entreprises du risque radon qui sera lancée en 2024.

- Implication dans les travaux de lancement du PRSE4 Normandie.

PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR / OCCITANIE

DIVISION DE MARSEILLE

- Participation à l'élaboration du PRSE4 d'Occitanie conjointement avec la division de Bordeaux.

- Participation à la mise à jour du dossier départemental sur les risques majeurs des Pyrénées-Orientales (DDRM 66 – édition 2023).

ACTIONS DE CONTRÔLE

AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

DIVISION DE LYON

- Réalisation de deux inspections de collectivités (Saint-Étienne et Aurillac) responsables d'établissements d'enseignement. Le suivi de la gestion du risque radon dans les crèches et les écoles publiques concernés est globalement satisfaisant, toutefois, pour Saint-Étienne, un ERP est concerné par une persistance de dépassement du niveau de référence depuis plus de dix ans malgré la réalisation d'actions correctives. De nouvelles actions sont d'ores et déjà planifiées pour y remédier. Pour Aurillac, des retards dans le calendrier de réalisation des dépistages pour deux ERP ont été relevés et ont conduit la division à effectuer un rappel des obligations réglementaires en matière de gestion du risque radon dans les ERP.

- Carrière Vicat à Saint-Laurent-du-Pont: le risque d'exposition des travailleurs au radon y est pris en compte ; toutefois, les récentes évolutions du site rendent nécessaires la réalisation d'une nouvelle campagne de mesures.

- Mines d'Orbagnoux à Corbonod et carrières Samin à Châtillon-en-Michaille: le risque d'exposition radon y est pris en compte et les derniers résultats de mesure disponibles démontrent l'efficacité des mesures de prévention ; une mise à jour de l'évaluation du risque devra toutefois être effectuée pour tenir compte notamment des évolutions de l'activité (mines d'Orbagnoux) et des bâtiments de surface (carrières Samin).

- Barrage EDF du Mont-Cenis : la démarche de prévention du risque radon a été appréhendée de manière très satisfaisante.

BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ

DIVISION DE DIJON

- Réalisation de quatre inspections de communautés de communes (« Mille Étangs », « Morvan Sommets et Grands Lacs », « Avallon Vézelay Morvan », « Arroux, Loire et Somme »). Ces collectivités n'ont pas initié la déclinaison des obligations réglementaires relevant tant du code de la santé publique (mesurages initiaux de l'activité volumique en radon dans

les ERP) que du code du travail (évaluation du risque) à l'exception « d'Avallon Vézelay Morvan » qui assure une gestion très satisfaisante du risque lié au radon. Ce constat a conduit l'ASN à demander la réalisation des dépistages réglementaires conjointement à l'évaluation du risque d'exposition des travailleurs.

- Réalisation d'une inspection d'un établissement thermal (société thermale de Bourbon Lancy) qui avait procédé à des mesurages du radon au titre des codes de la santé publique et du travail montrant plusieurs dépassements du niveau de référence, sans toutefois conduire les actions correctives nécessaires. La division a exigé de la part de l'établissement la mise en place d'un plan d'actions pour réduire le risque (voir encadré sur les thermes en page 119).

- Réalisation d'une inspection de lieu de travail spécifique, le barrage hydroélectrique de Vouglans, exploité par EDF Hydro Alpes. L'organisation et les dispositions mises en œuvre pour assurer la radioprotection des travailleurs vis-à-vis du risque d'exposition au radon y sont très satisfaisantes et parfaitement formalisées.

...

...

BRETAGNE / PAYS DE LA LOIRE**DIVISION DE NANTES**

- Réalisation de trois inspections de gestionnaires d'ERP (Saint-Herblain, Saint-Malo et le groupe VYV3 Pays de la Loire, gestionnaire de crèches dans le 44 et le 49). Les inspections conduites témoignent d'une bonne prise en compte du risque radon même si des progrès sont attendus sur l'affichage réglementaire des résultats, sur la démarche d'évaluation du risque radon pour les travailleurs et enfin sur la prise en compte en amont du risque radon dans les bâtiments en cas de travaux.
- Réalisation de deux inspections de lieux de travail spécifiques: Keolis (métro) de Rennes et Effia Stationnement. Ces inspections ont montré l'absence ou la récente mise en œuvre de la démarche d'évaluation du risque radon pour les travailleurs de ces organisations.

GRAND EST**DIVISIONS DE STRASBOURG ET DE CHÂLONS-EN-CHAMPAGNE**

- Réalisation de trois inspections de gestionnaires d'ERP (conseil régional, collectivité européenne d'Alsace, association d'accueil de personnes handicapées – ADAPEI Papillons Blancs). Ces gestionnaires ont bien pris en compte le risque radon même si les ERP concernés ne sont pas toujours identifiés de manière exhaustive. En outre, quelques écarts ont également été relevés concernant la périodicité du mesurage et la mise en œuvre des actions correctives, des expertises et des travaux en cas de dépassement du niveau de référence. Enfin, deux points de vigilance ont été relevés: le premier concerne la conservation de l'historique des actions réalisées par le passé et le second les modalités d'évaluation du risque relatif au radon pour les travailleurs qui diffèrent de celles pour le public.
- Réalisation d'une inspection d'un lieu de travail spécifique (parc minier de Tellure) au sein duquel la gestion du risque d'exposition au radon a tout juste été initiée.
- Réalisation de deux inspections d'établissements thermaux: Vittel et Contrexéville (voir encadré sur les thermes page suivante).

NOUVELLE-AQUITAINE / OCCITANIE**DIVISION DE BORDEAUX**

- En Occitanie, inspections des conseils départementaux de l'Ariège et des Hautes-Pyrénées avec la participation de l'ARS Occitanie. L'ASN note une bonne prise en compte de la réglementation dans le département de l'Ariège et un bilan plus mitigé dans le département des Hautes-Pyrénées où des expertises de bâtiments devront être engagées.

- En Nouvelle-Aquitaine, réalisation d'inspections de trois conseils départementaux: les Deux-Sèvres, la Creuse et la Haute-Vienne. Le risque radon est un risque bien identifié et pris en compte (campagnes de mesurages, actions de remédiation engagées, etc.); des actions complémentaires sont toutefois attendues pour les cas où des dépassements au niveau de référence subsistent (Deux-Sèvres, Haute-Vienne) ou pour vérifier l'efficacité d'actions correctives (Creuse).

- Réalisation d'une inspection d'un établissement thermal à Jonzac. Cet établissement a mené des études montrant dans les locaux mesurés des concentrations inférieures au niveau de référence et des concentrations en radon dans l'eau thermale relativement faibles. Une campagne de mesurages dans les lieux de travail est programmée en 2024; l'évaluation du risque d'exposition au radon des travailleurs devra être formalisée en conséquence.

NORMANDIE**DIVISION DE CAEN**

- Inspections de gestionnaires d'ERP (la région Normandie et le conseil départemental de l'Orne) avec un bilan très positif puisque le risque radon y est très bien pris en compte au sein des ERP concernés.

- Réalisation d'une inspection de lieu de travail spécifique au dernier trimestre (le barrage de Rabodanges exploité par EDF dont l'usine abrite un puits et une galerie souterraine): la démarche d'évaluation des risques a été initiée, mais des campagnes de mesurages n'ont pas encore été effectuées.

PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR / OCCITANIE**DIVISION DE MARSEILLE**

- Réalisation d'une inspection de lieux de travail spécifiques, la société ESCOTA, filiale de Vinci Autoroutes, gérant des tunnels autoroutiers. La démarche d'évaluation du risque radon n'a pas encore été mise en œuvre dans cet établissement qui ne connaissait pas la réglementation applicable dans ce domaine. La division a demandé que soit mis en place, sous trois mois, un plan d'action pour réduire le risque avec un point d'avancement début 2025.

- Réalisation d'une inspection de la ville de Cannes en tant que gestionnaire d'ERP avec l'ARS compétente. La ville a bien pris en compte la réglementation (formation d'un référent interne, mesurage de la quasi-totalité des établissements scolaires avec affichage des résultats).

En 2023, 12 organismes agréés pour le mesurage du radon ont été inspectés avec l'appui des divisions. Le champ du contrôle de l'ASN a porté sur la vérification du respect des exigences applicables issues du code de la santé publique, notamment ses articles L. 1333-29 à 31 et R. 1333-166, de l'arrêté du 26 février 2019 relatif aux modalités de gestion du radon dans certains ERP, et de trois décisions de l'ASN dont deux sont entrées en application au 1^{er} janvier 2023 : n° 2015-DC-0506 du 9 avril 2015, n°2022-DC-0743 et n° 2022-DC-0745 du 13 octobre 2022.

Le bilan est globalement satisfaisant. Les exigences de la nouvelle décision n°2022-DC-0743 de l'ASN du 13 octobre 2022 en matière de contenu des rapports d'intervention ont pour la plupart été bien prises en compte dans les modèles de rapport instruits même s'il subsiste parfois encore quelques oublis. Ces inspections ont mis par ailleurs en évidence plusieurs points positifs parmi lesquels la mise en place de procédures et une organisation permettant le cadrage des interventions, l'utilisation de détecteurs toujours conformes aux exigences réglementaires, la mise en place de conditions de stockage qui garantissent le maintien des performances de ces derniers et le respect de la période et de la durée du mesurage.

Des efforts restent néanmoins à fournir au sein de certains organismes pour améliorer la veille réglementaire et normative et garantir la qualité des prestations de mesurage.

Des progrès sont également attendus sur les points suivants : la connaissance du champ d'application de la réglementation (notamment dans le cas des ERP situés en zones 1 et 2), la méthodologie de détermination et de sélection des zones homogènes (absence de prise en compte du niveau de température et méconnaissance des règles de progression dans les niveaux), la méthodologie de calcul des valeurs d'activité volumique à attribuer à une zone homogène en cas de résultat inférieur à la limite de détection, la sécurisation et la fiabilité des outils d'aide à la rédaction des rapports, le traitement des écarts et leurs conséquences sur les conclusions, les suites à donner lorsqu'il y a plusieurs bâtiments et en cas de persistance d'un dépassement du niveau de référence, le respect des délais d'envoi des détecteurs aux laboratoires comme des rapports aux commanditaires et enfin, la complétude des données de mesurage transmises *via* la plateforme démarches-simplifiées.fr.

BILAN DES INSPECTIONS DES ÉTABLISSEMENTS THERMAUX

DANS LES ÉTABLISSEMENTS THERMAUX, IL EXISTE DEUX TYPES DE RAYONNEMENTS IONISANTS EXPOSANT LES CURISTES ET LES TRAVAILLEURS :

- le radon, qui est la source principale d'exposition. Outre les sources habituelles rencontrées dans les bâtiments que sont le sol sous-jacent et les matériaux de construction, le radon peut également provenir de l'eau thermale qui s'est chargée en radon au cours de son cheminement en sous-sol et qui est libérée au moment de l'utilisation de l'eau pendant les soins;
- le rayonnement ambiant généré par les autres radionucléides présents dans l'eau thermale (surtout l'uranium-238, le radium-226, le radium-228, le plomb-210 et le polonium-210). Des dépôts de matière marquée par ces radionucléides peuvent se former et créer des « points chauds », notamment dans les filtres à sable des piscines et dans le système de traitement de l'eau. Les cataplasmes appliqués sur la peau des patients analysés à ce jour ne présentent aucun caractère radioactif.

En juin 2022, 111 établissements thermaux conventionnés par l'Assurance Maladie étaient répartis dans 90 villes^(*). Depuis 2018, l'ASN a réalisé 14 inspections sur 13 sites.

Ces établissements présentent la particularité d'être soumis à trois réglementations relatives aux rayonnements ionisants: le code de la santé publique en tant qu'ERP, le code du travail en tant que lieu de travail spécifique pouvant exposer les travailleurs au radon et, éventuellement, en tant qu'activité mettant en œuvre des substances radioactives d'origine naturelle.

LES CONSTATS D'INSPECTION RÉVÈLENT QUE :

- la prise en compte du risque lié au radon dans l'analyse des risques professionnels n'a été effectuée que dans un seul établissement montrant que les établissements n'ont pas identifié les nouvelles exigences de la réglementation du code du travail applicables depuis 2018;
- tous les établissements ont réalisé au moins une campagne de mesurage de la concentration en radon dans l'air intérieur des locaux fréquentés par les curistes et les travailleurs. La démarche prévue dans le code de la santé publique est donc initiée. Les résultats montrent que les concentrations mesurées sont globalement supérieures à celles mesurées dans l'ensemble des ERP. Ceci s'explique par l'utilisation d'eau thermale qui peut constituer une source supplémentaire de radon.

Sur la base de ces constats, l'ASN poursuivra le contrôle de ce secteur, notamment par des réinspections, et mènera en 2024 une campagne de sensibilisation auprès de l'ensemble des établissements thermaux. Dans ce cadre, un bilan des inspections et des points d'attention sur l'application de la réglementation seront diffusés ainsi qu'une information sur les nouveaux coefficients de dose du radon, rendus applicables en 2024, qui auront un impact important dans la gestion du risque radon dans les locaux où les travailleurs ont une activité majoritairement non sédentaire.

^{*} Information du site ameli.fr.



La concentration en radon dans les locaux est par ailleurs fortement influencée par deux facteurs: le stockage intermédiaire de l'eau thermale qui permet le dégazage du radon et la ventilation des locaux;

- l'exposition des curistes est très limitée dans le temps (classiquement trois semaines pour une cure remboursée). Les travailleurs sont plus exposés que les curistes, car ils rentrent dans certains locaux où la concentration est plus élevée et leur durée d'exposition est plus longue;
- dans les établissements en situation de dépassement du niveau de référence de 300 Bq/m³ (5 établissements au niveau des locaux fréquentés par les curistes et 6 établissements au niveau des locaux fréquentés par les travailleurs sur 13 sites inspectés), les travaux visant à réduire la concentration en radon, qui sont prévus dans la réglementation, n'ont été menés que dans la moitié des cas (2 établissements sur 5 pour les locaux fréquentés par les curistes et 3 établissements sur 6 pour les locaux fréquentés par les travailleurs). Peu d'établissements avaient vérifié leur efficacité. Comme dans les ERP en général, le fait de revenir en dessous du niveau de référence de 300 Bq/m³ n'est pas toujours atteint. Cette difficulté est connue et il est parfois nécessaire de procéder de façon itérative. Les actions les plus simples mises en œuvre d'abord peuvent s'avérer insuffisantes et doivent être complétées ensuite par des travaux plus lourds;
- concernant le rayonnement généré par les autres radionucléides d'origine naturelle, aucune substance caractérisée ne présentait un niveau de radioactivité nécessitant la mise en place de mesure de radioprotection.