

Institut de Cancérologie de Bourgogne
VERSA HD ELEKTA

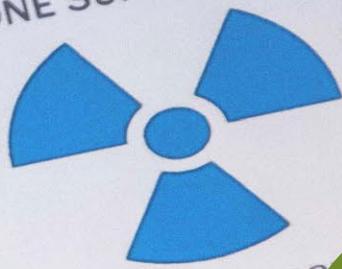


ZONE CONTRÔLÉE INTERMITTENTE

ACCES RESERVE AUX PERSONNES AUTORISEES

LORS D'UNE PERIODE D'INTERRUPTION
VOYANT VERT ALLUME

ZONE SURVEILLÉE



Accès Réglementé

Institut de Cancérologie de Bourgogne

EN COURS DE TRAITEMENT
VOYANT ROUGE "IRRADIATION" ALLUME

ZONE CONTRÔLÉE



INTERDITE

< 20 µSv sur 1 mois	Z. N.
< 1.25 mSv sur 1 mois	
< 4 mSv sur 1 mois	
< 2 mSv sur 1 mois	
< 100 mSv sur 1 mois	
> 100 mSv sur 1 mois	

ACCELERATEUR VERSA
MÉDECIN DU TRAVAIL
Secours de cette ligne : 01 46 54 76 02
Tel : 06 07 31 56 63 -
Fax : 01 46 54 50 48
Tel : 03 80 44 64 00 Fax : 03 80 30 65 72
Tel : 0800 804 135 (ASN)

01

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

LES ACTIVITÉS NUCLÉAIRES : RAYONNEMENTS IONISANTS ET RISQUES POUR LA SANTÉ ET L'ENVIRONNEMENT

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.

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

Au-delà des effets des rayonnements ionisants, les INB sont, comme toute installation industrielle, 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.

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 un électron (rayonnement bêta) ou un noyau d'hélium (rayonnement alpha), ou de photons (rayons X ou rayons gamma), les rayonnements ionisants interagissent avec les molécules constitutives des cellules de la matière vivante et les transforment 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.

Ces 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, citons 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 elle-même 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 laps de temps variable (cinq à vingt ans 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).

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 à Hiroshima et Nagasaki (Japon) a permis de faire régulièrement le point sur la morbidité et la mortalité par cancer après exposition aux rayonnements ionisants, et de décrire les relations dose-effets, 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 Tchernobyl** (Ukraine) qui, du fait de l'iode radioactif rejeté, a provoqué dans les régions

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

proches du lieu de l'accident un excès de cancers de la thyroïde chez des sujets jeunes exposés pendant leur enfance. Les conséquences sanitaires de l'[accident de Fukushima](#) (Japon) pour les populations avoisinantes ne sont pas encore suffisamment connues et analysées pour en tirer les enseignements au plan épidémiologique.

Le risque de cancer radio-induit apparaît pour différents niveaux d'exposition et n'est pas lié à un dépassement de seuil. Il se manifeste par un accroissement de la probabilité de cancer pour une population d'âge et de sexe donnés. On parle alors d'effets probabilistes, stochastiques (produits par l'effet du hasard) ou aléatoires.

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 liés à une exposition aux rayonnements ionisants, aussi appelés « 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 termes 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). Cependant, les registres ne couvrent pas nécessairement les régions proches des installations nucléaires.

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 constaté 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, alors que l'exposition moyenne est de l'ordre de 200 mSv ; des études sur des travailleurs de l'industrie nucléaire, publiées durant ces dernières années, suggèrent qu'il ne peut être exclu un risque de cancer à des doses plus faibles (doses cumulées sur plusieurs années).

Ces résultats soutiennent la justification d'une protection radiologique des populations exposées aux faibles doses de rayonnements ionisants (travailleurs de l'industrie nucléaire, personnels médicaux, exposition médicale à finalité diagnostique, etc.).

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 en cours pour étoffer ces modélisations.

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 CIPR 103](#)).

L'évaluation du risque de cancer du poumon dû au radon⁽²⁾ 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 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 métropolitaine est estimé à 46 363 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).

2. 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.

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 risques sans toutefois les supprimer, qu'il s'agisse, par exemple, des doses reçues par les travailleurs ou de celles associées aux rejets des installations nucléaires de base (INB). De nombreuses incertitudes subsistent ; elles conduisent l'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 termes 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, ils peuvent chez ces personnes conduire à des « brûlures radiologiques ». 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), tout en suscitant des questions éthiques et sociétales.

1.3.2 Les effets des faibles doses

La relation linéaire sans seuil

L'hypothèse de cette relation, retenue pour modéliser l'effet des faibles doses sur la santé (voir point 1.2), aussi commode soit-elle sur un plan réglementaire, aussi prudente soit-elle sur un plan sanitaire, n'a pas toute l'assise voulue sur un plan scientifique. 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. Mais, face à la complexité des phénomènes de réparation

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), intitulée *Incorporation de radionucléides en milieu du travail – Partie 3*, porte sur 14 radioéléments, dont le radon.

Les doses délivrées par le radon et ses descendants dépendent de nombreux paramètres (variabilité des situations d'exposition, des individus, etc.).

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 basés 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).

En attendant la mise à jour de la réglementation^(*), l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a évalué en 2021 les conséquences de l'adoption de nouveaux coefficients de dose publiés par la CIPR dans sa publication 137 sur l'exposition au radon de la population^(**). Ces calculs conduisent à une dose efficace moyenne annuelle en France de 3,5 mSv avec une variation selon les communes de 0,75 millisieverts par an (mSv/an) à 47 mSv/an. L'exposition moyenne globale de la population passerait ainsi de 4,5 mSv/an à 6,5 mSv/an, l'exposition au radon représentant 54 % de l'exposition globale contre 33 % actuellement.

(*) Arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.

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

et de mutation de l'ADN, face aux limites méthodologiques de l'épidémiologie, des incertitudes demeurent et la précaution s'impose pour les décideurs publics.

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⁽³⁾ 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

La survenue d'éventuels effets héréditaires des rayonnements ionisants chez l'homme reste incertaine. De tels effets n'ont pas été observés chez les survivants des bombardements de Hiroshima et de Nagasaki. Cependant, des effets héréditaires ont été bien documentés dans des travaux expérimentaux chez l'animal : les mutations induites par les rayonnements ionisants dans les cellules germinales sont transmissibles à la descendance. La mutation récessive d'un gène sur un chromosome ne donnera aucun signe clinique ou biologique tant que le même gène porté par l'autre chromosome homologue ne sera pas atteint ; si elle n'est pas nulle, la probabilité de ce type d'événement reste cependant faible.

La protection de l'environnement

La radioprotection a pour but d'empêcher ou de réduire les effets nocifs des 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 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.



Ouvrières (« radium girls ») peignant des aiguilles de cadrans lumineux au radium dans l'usine US Radium (United States Radium Corporation) à Orange dans le New Jersey – 1922

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).

3. 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.

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 66% de l'exposition totale annuelle⁽⁴⁾.

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'IRSN évalue la dose efficace individuelle 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.

Les teneurs en radionucléides naturels dans les sols sont extrêmement variables. Les valeurs des débits de dose d'exposition externe, à l'air libre, s'échelonnent en France, selon les régions, entre quelques nanosieverts par heure (nSv/h) et 100 nSv/h.

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 γ 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.

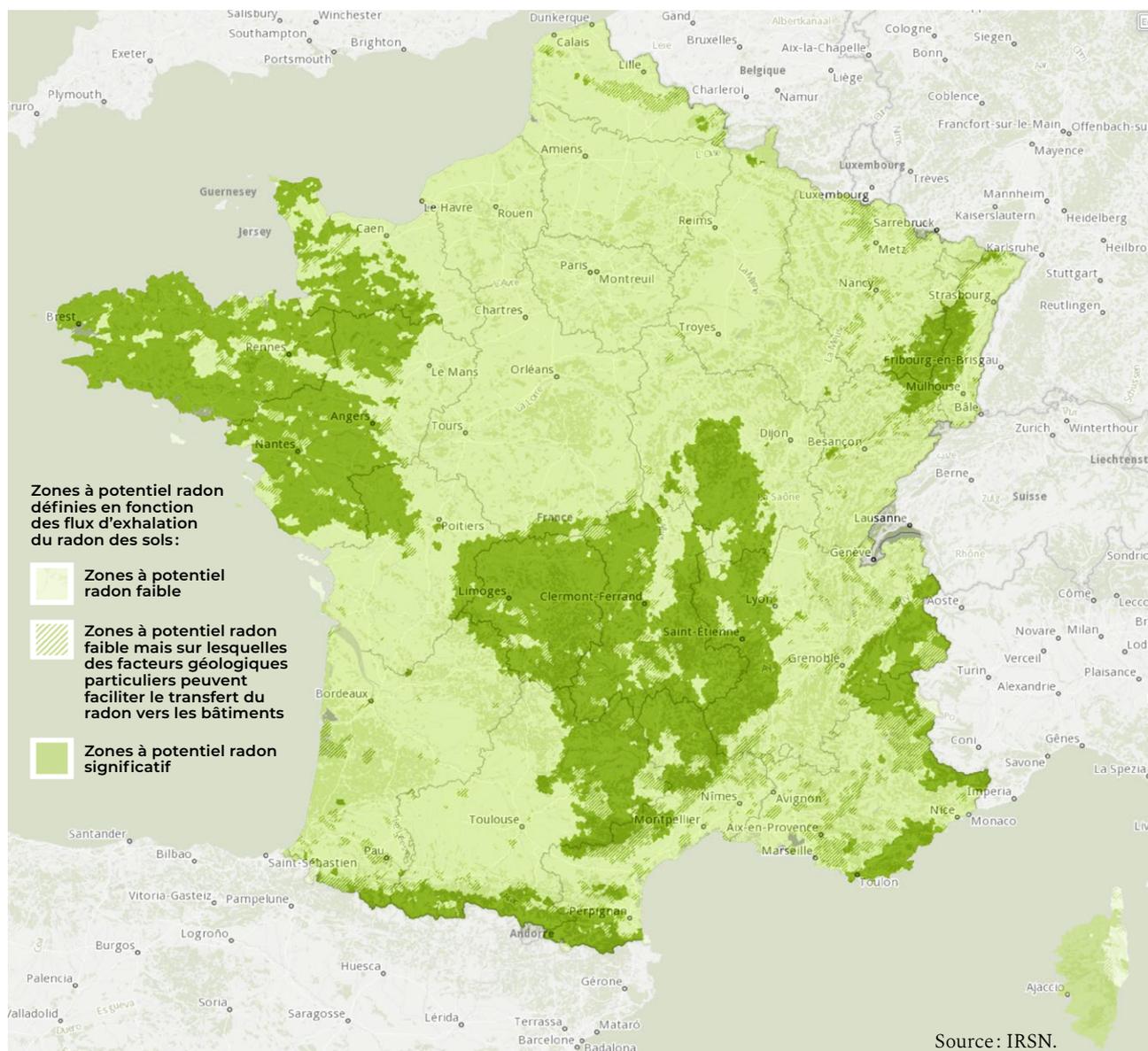
Des campagnes nationales de mesurages avaient permis de classer les départements en fonction du potentiel d'exhalation de radon des terrains. En 2011, l'IRSN a publié une cartographie du territoire national en considérant le potentiel d'exhalation de radon dans le sol, à partir des données du Bureau 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, le 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. En utilisant le facteur de dose de la CIPR 65 actuellement en vigueur, la dose efficace moyenne par habitant est estimée à 1,45 mSv/an. En fonction des communes, cette dose efficace varie de 0,31 mSv/an à 19 mSv/an. L'IRSN a par ailleurs publié une évaluation des conséquences de l'adoption des nouveaux coefficients publiés par la CIPR dans sa publication 137 (voir encadré en page 104).

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

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

ZONES À POTENTIAL RADON EN FRANCE MÉTROPOLITAINE DÉFINIES PAR L'ARRÊTÉ DU 27 JUIN 2018



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, doivent permettre d'améliorer la connaissance des expositions au radon en France.

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;
- le transport de substances radioactives;
- les activités nucléaires de proximité;
- l'élimination des déchets radioactifs;
- la gestion des sites contaminés;
- 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 installations nucléaires de base au 31 décembre 2021 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 :

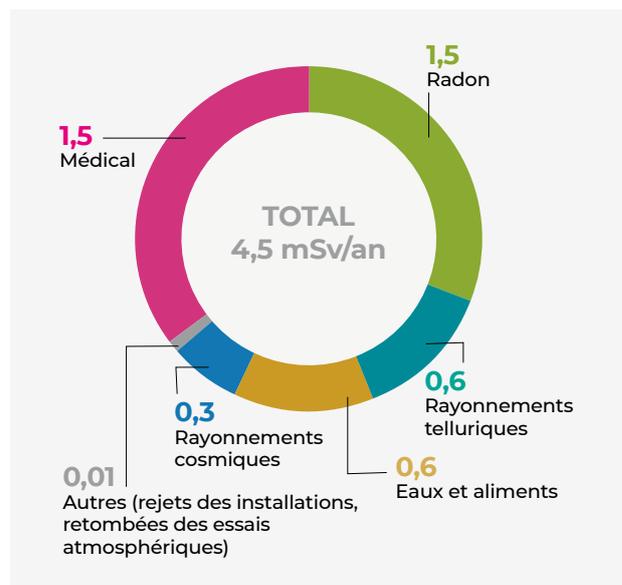
- la robustesse et l'emballage est la première ligne de défense. L'emballage joue un rôle essentiel et doit résister aux conditions de transport envisageables;
- la fiabilité des opérations de transport constitue la deuxième ligne de défense;
- enfin, la troisième ligne de défense est constituée par 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), la biologie, la recherche, l'industrie, mais aussi les applications vétérinaires 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

DIAGRAMME 1 Exposition moyenne aux rayonnements ionisants de la population en France (mSv/an)



Source: IRSN, 2021.

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 4,5 mSv par personne et par an, mais cette exposition présente une grande variabilité individuelle, 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). La dose efficace individuelle annuelle moyenne peut ainsi varier de 1,6 mSv à 28 mSv⁽⁵⁾. Le diagramme 1 représente une estimation des contributions respectives des différentes sources d'exposition aux rayonnements ionisants pour la population française.

3.1 Les doses reçues par les travailleurs

3.1.1 La surveillance de l'exposition des personnes travaillant dans les installations nucléaires

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 termes de dose efficace, est de 20 mSv sur 12 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 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 (mensuelle ou trimestrielle). 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 2020 – *La radioprotection des travailleurs – Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France*. Sur le plan méthodologique, comme pour les trois années précédentes, le bilan IRSN 2020 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 2020 pour l'exposition externe ne sont directement comparables qu'à ceux de 2019, 2018 et 2017. Afin de pouvoir néanmoins établir des tendances, les résultats des années 2015 et 2016 ont été réévalués rétroactivement avec la nouvelle approche méthodologique (voir tableau 3).

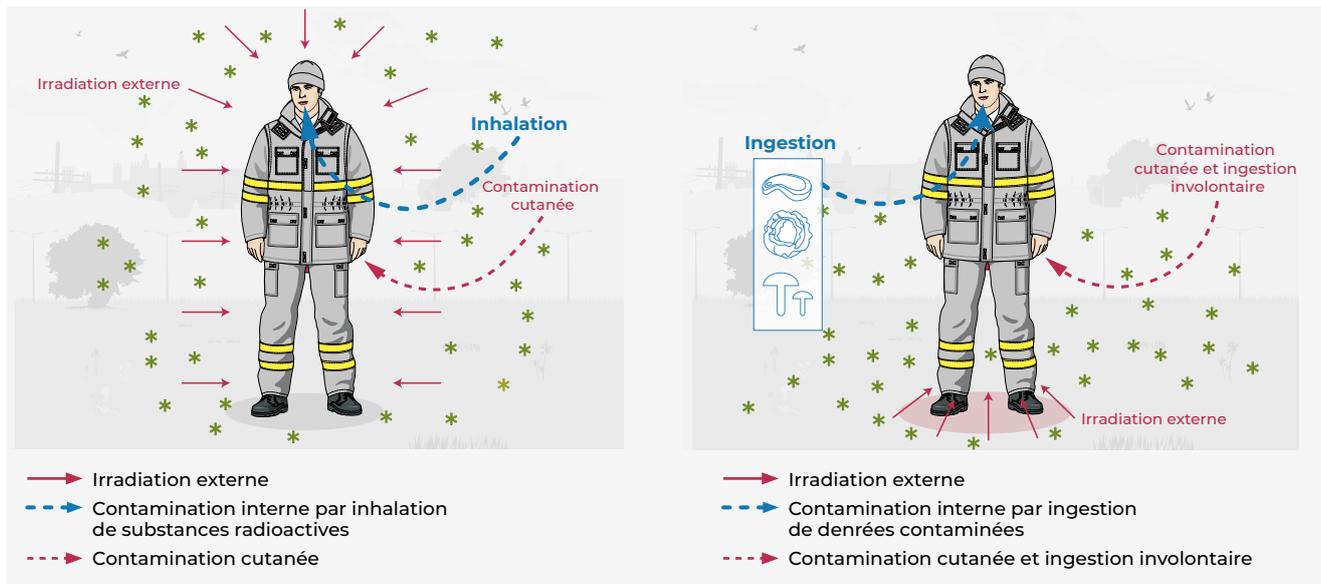
Les tableaux 1 et 2 présentent, par domaine d'activité et pour l'année 2020, la répartition des effectifs surveillés, de la dose collective (somme des doses individuelles reçues par un groupe de personnes donné) et du nombre de dépassements de la limite annuelle de 20 mSv. Ils témoignent d'une grande disparité de la répartition des doses selon les secteurs.

Par exemple, le secteur des activités médicales et vétérinaires, qui regroupe une part importante des effectifs surveillés (59%), ne représente que 11% de la dose collective ; par contre, le secteur de l'industrie du nucléaire civil qui ne représente que 22% des effectifs, comptabilise 52% de la dose collective et le secteur concerné par une exposition à la radioactivité naturelle qui ne représente que 5,9% de l'effectif total, comptabilise 31% de la dose collective. Le secteur industriel, quant à lui, représente 4,2% des effectifs et comptabilise 3,5% de la dose collective.

Le tableau 3 montre que le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe à lecture différée est en augmentation d'environ 1% par an depuis 2015 jusqu'en 2019. En 2020, le nombre de travailleurs suivis a diminué de 1,9%.

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

SOURCES ET VOIES D'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS



En 2020, la dose collective (tous domaines confondus) est de 72,43 homme.Sv⁽⁶⁾, valeur en baisse de 35,5% par rapport à 2019 et qui n'a jamais été aussi basse depuis 2015. Cette baisse concerne tous les domaines d'activité et s'explique principalement par la diminution du trafic aérien et donc une moindre exposition aux rayonnements cosmiques pour le personnel navigant et l'étalement du volume des travaux de maintenance dans le domaine nucléaire, tous deux liés aux conséquences de la pandémie.

Pour les mêmes raisons, la dose individuelle annuelle moyenne, d'une valeur de 0,78 mSv en 2020, est en baisse de 35% par rapport à celle observée en 2019.

En 2020, cinq dépassements de la limite réglementaire de 20 mSv pour la dose efficace ont été enregistrés (voir diagramme 2) dont quatre liés à une exposition externe et un lié à une exposition interne. Les quatre cas liés à une exposition externe concernent les travailleurs des domaines médical (2), vétérinaire (1) et de l'industrie non nucléaire (1). Il convient de noter toutefois qu'à ces quatre cas s'ajoute un cinquième cas de dépassement de la limite de dose efficace, dans le domaine médical, correspondant à une dose cumulée sur 12 mois glissant de juin 2019 à mai 2020 et non sur l'année civile. Un seul cas a été confirmé par le médecin du travail, les autres ont été retenus par défaut en l'absence de retour du médecin du travail sur les conclusions de l'enquête.

Le dépassement de la limite réglementaire de 20 mSv lié à l'exposition interne concerne le domaine nucléaire dans le secteur de la fabrication du combustible.

Concernant la dosimétrie des extrémités (doigts et poignets), le nombre de travailleurs suivis en 2020 est de 27 437 (soit 7% de l'effectif suivi). Sur l'ensemble des effectifs suivis, il y a eu un cas de dépassement de la limite réglementaire de la dose équivalente aux extrémités de 500 mSv, dans le domaine médical (975,8 mSv).

Par ailleurs, 4 429 travailleurs ont fait l'objet d'une surveillance de l'exposition au cristallin (4 830 en 2019), témoignant probablement d'une baisse de l'activité en lien avec la crise sanitaire, après une forte augmentation les années précédentes. Quatre travailleurs (secteur de la radiologie du domaine médical) ont reçu une dose équivalente supérieure à 20 mSv. La dose maximale enregistrée est de 37,74 mSv. Cette valeur est à mettre en regard de la future limite réglementaire de dose au cristallin de 20 mSv/an à partir de 2023.

En conclusion, comme les années précédentes, le bilan de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France en 2020, publié par l'IRSN en juin 2021, montre globalement l'efficacité du système de prévention mis en place dans les établissements où sont utilisées les sources de rayonnements ionisants puisque, pour 94% 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). Les dépassements des valeurs limites réglementaires restent exceptionnels (cinq dépassements de la limite annuelle de 20 mSv).

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 des [pratiques médicales interventionnelles radioguidées](#).

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).

Le [bilan des études réalisées en France entre 2005 et 2009](#), publié par l'ASN en janvier 2010, et les études publiées jusqu'en 2018 montrent que 85% des doses reçues par les travailleurs des industries concernées restent inférieures à 1 mSv/an. Les secteurs industriels où l'exposition des travailleurs est susceptible de dépasser 1 mSv/an sont les suivants : traitement du minerai de titane, fumisterie et recyclage de céramiques réfractaires, maintenance de pièces composées d'alliages au thorium dans l'aéronautique, traitement chimique du minerai de zircon, transformation mécanique et utilisation de zircon et traitement des terres rares.

En 2020, 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

6. Unité de grandeur de dose collective. Pour mémoire, la dose collective est la somme des doses individuelles reçues par un groupe de personnes données.

géologique a concerné environ 450 travailleurs, dont 21 ont été exposés à plus de 1 mSv (exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium).

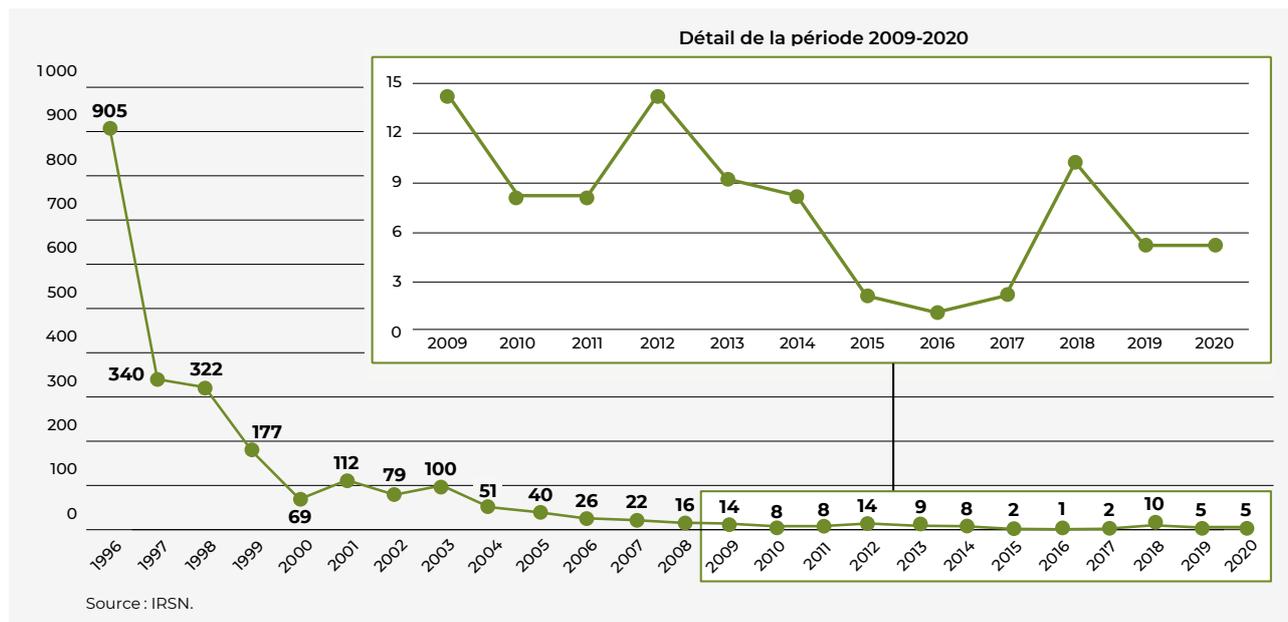
Exposition des personnels navigants aux rayonnements cosmiques

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 2020, *SievertPN* avait transmis la totalité des doses des personnels navigants à Siseri pour 12 compagnies aériennes civiles ayant adhéré au dispositif, conduisant à un total

DIAGRAMME 2 Évolution du nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv de 1996 à 2020



BILAN DE LA SURVEILLANCE DOSIMÉTRIQUE DE L'EXPOSITION EXTERNE DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS (EXPOSITION À LA RADIOACTIVITÉ NATURELLE INCLUSE) EN 2020

(Source : Bilan 2020 IRSN, juin 2021 – « La radioprotection des travailleurs : exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France »)

- Effectif total surveillé : 387 452 travailleurs
- Effectif surveillé pour lequel la dose efficace annuelle est restée inférieure au seuil d'enregistrement : 295 080 travailleurs, soit plus de 76 %
- Effectif surveillé pour lequel la dose efficace annuelle est restée comprise entre le seuil d'enregistrement et 1 mSv : 70 324 travailleurs, soit environ 18 %
- Effectif surveillé pour lequel la dose efficace annuelle est restée comprise entre 1 mSv et 20 mSv : 22 044 travailleurs, soit plus de 5,6 %
- Effectif surveillé pour lequel la dose efficace annuelle a dépassé 20 mSv : 4 travailleurs(*)
- Effectif surveillé pour lequel la dose équivalente aux extrémités a dépassé 500 mSv : 1 travailleur
- Dose collective (somme des doses efficaces annuelles individuelles) : 72,43 homme.Sv
- Dose efficace individuelle annuelle moyenne sur l'effectif ayant enregistré une dose supérieure au seuil d'enregistrement : 0,78 mSv

Bilan de la surveillance de l'exposition interne en 2020 (hors radioactivité naturelle)

- Nombre d'examens de routine réalisés : 197 485 (dont 0,4 % considérés positifs)
- Effectif ayant fait l'objet d'une estimation dosimétrique : 724 travailleurs
- Nombre d'examens de surveillance spéciale ou de contrôle réalisés : 7 773 (dont 15 % sont supérieurs au seuil d'enregistrement)
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée supérieure à 1 mSv : 1 travailleur

Bilan de la surveillance de l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2020

- Exposition interne :
 - dose collective pour 334 travailleurs : 83,95 homme.mSv
 - dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif ayant enregistré une dose supérieure au seuil d'enregistrement : 0,45 mSv

(*) À ces quatre cas, s'ajoute un cinquième cas non référencé dans cette synthèse : cas dans le domaine médical correspondant à une dose cumulée sur 12 mois glissant de juin 2019 à mai 2020 et non sur l'année civile.

de 21 949 personnels navigants suivis par ce dispositif. En 2020, presque 55 % des doses individuelles annuelles sont inférieures à 1 mSv et 45 % des doses individuelles annuelles sont comprises entre 1 mSv et 5 mSv. La dose individuelle maximale annuelle est de 4,17 mSv.

En 2020, la dose collective a diminué de 58 % par rapport à 2019, alors qu'elle augmentait régulièrement ces dernières années. Cette diminution s'explique par la crise sanitaire qui a provoqué une chute importante du trafic aérien.

TABEAU 1 Surveillance de l'exposition externe des travailleurs dans le domaine nucléaire civil (année 2020)

	NOMBRE DE PERSONNES SURVEILLÉES	DOSE COLLECTIVE (homme.Sv ^(*))	DOSE INDIVIDUELLE > 20 mSv
Réacteurs et production d'énergie (EDF)	23 603	5,65	0
« Cycle du combustible » ; démantèlement	12 417	3,4	0
Transport	638	0,09	0
Logistique et maintenance (prestataires)	31 807	25,42	0
Effluents, déchets	789	0,1	0
Autres	6 501	1,1	0
Total nucléaire civil	75 755	35,76	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 données.

(Source : Bilan IRSN, juin 2021 – « La radioprotection des travailleurs : exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France »)

TABEAU 2 Surveillance de l'exposition externe des travailleurs dans les activités nucléaires de proximité (année 2020)

	NOMBRE DE PERSONNES SURVEILLÉES	DOSE COLLECTIVE (homme.Sv ^(*))	DOSE INDIVIDUELLE > 20 mSv
Médecine	163 633	6,28	2 ⁽¹⁾
Dentaire	43 510	1,2	0
Vétérinaire	21 442	0,36	1
Industrie	16 439	2,59	1
Recherche et enseignement	10 844	0,26	0
Naturel (**)	22 838	22,46	0
Total nucléaire de proximité	278 706	33,15	4

(1) À ces deux cas, s'ajoute un troisième cas, détecté en mai 2020 dans le domaine médical pour une dose cumulée de 21,1 mSv sur 12 mois glissant de juin 2019 à mai 2020, et non sur l'année civile.

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

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

(Source : Bilan IRSN, juin 2021 – « La radioprotection des travailleurs : exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France »)

TABEAU 3 Évolution des effectifs suivis et de la dose collective et individuelle moyenne sur l'effectif exposé de 2015 à 2020^(*) 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

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

(Source : Bilan IRSN, juin 2021 – « La radioprotection des travailleurs : exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France »)

TABEAU 4 Impact radiologique des INB depuis 2015 calculé par les exploitants à partir des rejets réels des installations et pour les groupes de référence les plus exposés (données fournies par les exploitants nucléaires)

EXPLOITANT/SITE	GROUPE DE RÉFÉRENCE LE PLUS EXPOSÉ EN 2020	DISTANCE AU SITE EN km	ESTIMATION DES DOSES REÇUES, EN mSv ^(a) (les valeurs, calculées par l'exploitant, sont arrondies à l'unité supérieure)					
			2015	2016	2017	2018	2019	2020
Andra / CSA	Groupe multi-activité Ville-aux-Bois	1,7	2.10 ⁻⁶	2.10 ⁻⁶	2.10 ⁻⁶	3.10 ⁻⁷	3.10 ⁻⁷	4.10 ⁻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	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴
CEA / Cadarache ^(b)	Saint-Paul-lez-Durance	5	1.10 ⁻³	<2.10 ⁻³	<2.10 ⁻³	<3.10 ⁻³	<2.10 ⁻³	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, Centracro, Phénix, Melox, CIS bio)	Codolet	2	2.10 ⁻⁵	<2.10 ⁻³				
CEA / Saclay ^(b)	Le Christ-de-Saclay	1	2.10 ⁻³	<2.10 ⁻³	<2.10 ⁻³	<2.10 ⁻³	<4.10 ⁻³	<2.10 ⁻³
EDF / Belleville-sur-Loire	Beaulieu-sur-Loire	1,8	5.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴
EDF / Blayais	Braud et Saint-Louis	2,5	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴
EDF / Bugey	Vernas	1,8	2.10 ⁻⁴	9.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	9.10 ⁻⁵
EDF / Cattenom	Kœnigsmacker	4,8	7.10 ⁻³	9.10 ⁻³	8.10 ⁻³	9.10 ⁻³	1.10 ⁻²	7.10 ⁻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	6.10 ⁻⁴	6.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴
EDF / Civaux	Valdivienne	1,9	9.10 ⁻⁴	2.10 ⁻³	8.10 ⁻⁴	8.10 ⁻⁴	2.10 ⁻³	1.10 ⁻³
EDF / Creys-Malville	Creys-Mépieu	0,95	2.10 ⁻⁶	3.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁵	8.10 ⁻⁶
EDF / Cruas-Meyssse	Savasse	2,4	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	3.10 ⁻³	3.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴
EDF / Dampierre-en-Burly	Lion-en-Sulias	1,6	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴
EDF / Fessenheim	Fessenheim	1,3	4.10 ⁻⁵	3.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁵	5.10 ⁻⁵	4.10 ⁻⁵	3.10 ⁻⁵
EDF / Flamanville	Flamanville	0,8	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁵
EDF / Golfech	Valence	3,4	3.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴
EDF / Gravelines	Grand-Fort-Philippe	2,5	4.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	8.10 ⁻⁴	1.10 ⁻³	8.10 ⁻⁴
EDF / Nogent-sur-Seine	Saint-Nicolas-la-Chapelle	2,3	4.10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴
EDF / Paluel	Paluel	1,1	4.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴
EDF / Penly	Berneval-le-Grand	3,1	4.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴
EDF / Saint-Alban	Saint-Maurice-l'Exil	1,7	2.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴
EDF / Saint-Laurent-des-Eaux	Lestiou	1,7	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴
EDF / Tricastin	Bollène	1,3	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴
Framatome Romans	Ferme Riffard	0,2	3.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁵	3.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁵
Ganil / Caen	IUT	0,6	<2.10 ⁻³	<2.10 ⁻³	8.10 ⁻³	8.10 ⁻³	7.10 ⁻³	7.10 ⁻³
ILL / Grenoble	Fontaine (rejets gazeux) et Saint-Égrève (rejets liquides)	1 et 1,4	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁵	3.10 ⁻⁵	5.10 ⁻⁵
Orano Cycle / La Hague	Digulleville	2,8	2.10 ⁻²	2.10 ⁻²	2.10 ⁻²	2.10 ⁻²	2.10 ⁻²	1.10 ⁻²
Orano / Tricastin (Areva NC, Comurhex, Eurodif, Socatri, SET)	Les Girardes	1,2	3.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	9.10 ⁻⁵	8.10 ⁻⁵	4.10 ⁻⁵

(a) Pour les installations exploitées par EDF, jusqu'en 2008, seules les valeurs « adultes » étaient calculées. De 2010 à 2012, la dose du groupe de référence le plus exposé 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 microsievert, 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.

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).

Par contre, 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 groupes de référence retenus, de quelques microsievverts à quelques dizaines de microsievverts 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 groupes de population de référence les plus exposés.

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 $2,3 \mu\text{Sv}/\text{an}$ ($1,3$ pour le strontium-90 et $1 \mu\text{Sv}/\text{an}$ 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 $46 \mu\text{Sv}/\text{an}$ pour les personnes résidant sur des zones de rémanence élevée de ces retombées et de $9,3 \mu\text{Sv}/\text{an}$ pour celles résidant sur le reste du territoire, soit une dose moyenne par habitant de $12 \mu\text{Sv}/\text{an}$ à l'échelle de l'ensemble du territoire (IRSN 2021). En ce qui concerne les retombées en France de l'accident de Fukushima, 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 $0,1 \text{ mSv}$ par 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 $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 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 ;
- 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 $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$, l'employeur doit agir pour réduire l'activité volumique en radon. Si les actions se révèlent inefficaces, il doit identifier d'éventuelles « zones radon », 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

RISQUE RADON: LES PRIORITÉS DE L'ASN

La stratégie nationale de gestion du risque lié au radon, et la réglementation qui en dépend, sont une responsabilité partagée entre les ministères chargés de la prévention des risques, de la santé, du travail et de la construction, avec l'appui de l'ASN. L'ASN a redéfini en 2021 ses orientations et priorités en matière de gestion du risque lié au radon, lesquelles se déploient sur huit axes.

1. Poursuite de l'animation et coordination du plan national d'action radon et évaluation de la politique de gestion du risque lié au radon

Le plan national d'action radon structure depuis 2005 les politiques publiques en matière de gestion du risque lié au radon. Son élaboration et son suivi sont co-pilotés par l'ASN qui assure, par ailleurs, le secrétariat technique du comité de suivi. L'ASN est également chargée du co-pilotage de plusieurs actions du plan 2020-2024.

L'ASN confortera son rôle en matière d'animation et de coordination tant au niveau national que régional.

En outre, l'ASN participera aux travaux portant sur l'évaluation de l'efficacité de la politique de gestion du risque lié au radon.

2. Soutien à l'amélioration des connaissances scientifiques et implication dans les travaux à l'international

L'évaluation des risques liés à l'exposition du radon a fait l'objet de publications récentes permettant d'actualiser les connaissances à partir des études épidémiologiques et scientifiques disponibles et de l'approche dosimétrique développée par la CIPR. Au niveau français, l'évaluation quantitative de l'effet sanitaire du radon en France a été actualisée en 2018. Pour autant, des sujets restent à investiguer (risque de pathologies autres que le cancer du poumon par exemple).

L'ASN participera aux travaux internationaux sur ces sujets, notamment dans le cadre des travaux des responsables des Autorités européennes de contrôle de la radioprotection (*Heads of the European radiological protection competent authorities – HERCA*).

3. Développement d'une stratégie de communication

Le risque lié au radon et la réglementation restent encore méconnus du grand public^(*). L'information des publics sur le risque et sur les moyens de prévention associés, ainsi que sur la réglementation applicable, constitue un enjeu majeur pour la réussite des politiques publiques de gestion du risque lié au radon. Elle constitue la première priorité du plan national d'action radon 2020-2024. L'ASN étudiera toute démarche expérimentale, innovante permettant de favoriser le développement d'une culture de prévention.

4. Évaluation du dispositif d'agrément des organismes réalisant les mesurages de l'activité du radon

L'ASN délivre, à ce jour, les agréments des organismes chargés du mesurage de l'activité du radon. Une évolution de ce dispositif sera étudiée, en concertation avec la DGS, visant notamment le passage d'un système d'agrément par l'ASN à un système d'accréditation par le Cofrac pour les organismes réalisant des mesurages dans les établissements recevant du public.

5. Parachèvement du dispositif réglementaire

L'ASN achèvera la mise à jour des décisions relatives aux organismes agréés (modalités d'agrément et formation des opérateurs) et celle relative au système d'information de centralisation des données (abandon de l'application SISE-ERP^(**) au profit du système « démarches simplifiées »).

6. Soutien d'actions de réduction du risque lié au radon au stade de la construction

Les normes de construction actuelles ne prévoient pas de disposition particulière sur la prise en compte du risque lié au radon et les études sur l'efficacité de ces normes vis-à-vis de ce risque ne permettent actuellement pas de conclure. L'ASN encouragera toute action visant, d'une part, à mieux évaluer l'efficacité, vis-à-vis du risque lié au radon, des normes en vigueur pour le secteur de la construction et, d'autre part, à réduire le risque à la source, par exemple par des obligations au stade de la construction.

7. Poursuite de la démarche d'approche graduée du contrôle

Pour les établissements recevant du public, le contrôle sera ciblé prioritairement sur les gestionnaires de parc. Des contrôles ponctuels seront menés dans les situations de fort dépassement et d'absence manifeste d'action engagée par les propriétaires. S'agissant des lieux de travail, pour lesquels la réglementation a fortement évolué, l'ASN procédera également à des inspections ciblées d'établissements à enjeux en matière de radioprotection, où les concentrations de radon peuvent être élevées.

8. Élaboration d'un cadre national de gestion des situations d'urgence

Des situations de dépassement important du niveau de référence de radon, fixé à 300 Bq/m³, ont été communiquées à l'ASN ces dernières années dans des ERP, des lieux de travail ou de l'habitat privé. Le retour d'expérience fait apparaître le besoin d'une coordination nationale, comme c'est déjà le cas pour le radon d'origine anthropique.

L'ASN engagera une réflexion pour définir les modalités de coordination nationale pour ces situations. L'ASN soutiendra par ailleurs, afin de permettre des interventions d'urgence pour les cas les plus critiques, la création de fonds de financement spécifiques.

(*) *Baramètre IRSN 2019 : La perception des risques et de la sécurité par les français.*

(**) *Système d'information santé environnement concernant les établissements recevant du public.*

des résultats de mesurage⁽⁷⁾. 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⁽⁴⁾ : 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.

Les résultats transmis par les organismes agréés par l'ASN pour les campagnes 2018/2019, 2019/2020 et 2020/2021 montrent que la majorité des dépistages a été réalisée dans des établissements d'enseignement et des établissements sanitaires et médico-sociaux (respectivement 55% et 26% des dépistages). Les établissements d'accueil collectif des enfants de moins de 6 ans, qui constituent une nouvelle catégorie d'ERP soumis à la gestion du risque lié au radon, représentent 12% des mesurages réalisés pendant les campagnes 2019/2020 et 2020/2021. La concentration volumique en radon est inférieure au niveau de référence de 300 Bq/m³ pour 75% des établissements d'enseignement, 90% des établissements d'accueil collectif des enfants de moins de 6 ans et 87% des établissements sanitaires et médico-sociaux dépistés.

Les données recueillies dans 467 ERP montrent que les actions correctives ou les travaux destinés à réduire la concentration du radon ont permis d'abaisser la concentration en dessous de 300 Bq/m³ dans seulement 40% des ERP. Des actions correctives « simples » visant à l'amélioration de l'étanchéité d'un bâtiment ou le renouvellement d'air des locaux ne sont ainsi pas toujours suffisantes. Par ailleurs, la réalisation de l'expertise du bâtiment par un professionnel et, le cas échéant, la réalisation d'investigations complémentaires par un organisme agréé par l'ASN, s'avèrent des étapes cruciales pour la définition de travaux de remédiation à entreprendre.

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 va établir des recommandations en matière de prévention dans les constructions neuves et de remédiation dans les bâtiments existants. 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.

Afin de suivre l'efficacité de la stratégie nationale mise en œuvre dans le cadre du plan national d'action, un système d'indicateurs spécifiques a été mis en place, choisis en fonction de leur pertinence et des données disponibles permettant leur suivi. L'évolution des indicateurs sera analysée annuellement par le comité de pilotage du suivi du nouveau plan 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 progresse depuis une trentaine d'années du fait de l'augmentation du nombre d'[examens radiologiques](#), notamment d'examen scanographiques, du vieillissement de la population, des stratégies déployées pour une meilleure prise en charge de patients, en particulier dans le cadre de la surveillance après traitement d'un cancer et des maladies coronariennes. Elle fait l'objet depuis 2002 d'un bilan régulier par l'IRSN.

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 1187 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%

7. 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.

TABEAU 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 : 102 198 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.

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 1000 actes pour 1000 individus en 2017). Malgré leur fréquence, ces actes dans cette population ne représentent que 0,5% de la dose collective.

À noter 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, 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. Un [2^e plan d'action](#) a été publié en juillet 2018. Celui-ci prolonge le premier plan (2011-2017), établi en liaison avec les parties prenantes (institutionnelles et professionnelles).

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 [GPRADE](#) 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. Le projet de guide a été remis à l'ASN à la fin de l'année 2020 et présenté au GPRADE en juin 2021. La publication du guide est prévue au tout début de l'année 2022.



Actions des divisions territoriales de l'ASN pour la prévention du risque lié au radon dans les territoires

En 2021, les divisions de l'ASN, avec les administrations (Dreal, ARS, Dreetts) et les organisations partenaires (Cerema, associations professionnelles, collectivités locales, etc.), ont poursuivi les actions de sensibilisation des élus, professionnels du bâtiment, employeurs, responsables d'ERP et grand public aux évolutions réglementaires intervenues depuis 2018 (voir point 3.2.2). Cette sensibilisation s'accompagne en parallèle d'actions de contrôle. Pour les ERP, ces actions sont en particulier ciblées sur de grands gestionnaires de parcs.

ACTIONS DE SENSIBILISATION

BRETAGNE / PAYS DE LA LOIRE – Division de Nantes

- Entre 65 % et 93 % des communes des départements (hors Sarthe) de ces régions sont situées dans des **zones à potentiel radon significatif**.
- Organisation par la division, l'ARS et la Dreetts d'un webinaire « radon » pour les propriétaires d'ERP et employeurs, avec un **double objectif** : rappeler les obligations réglementaires et recueillir des témoignages d'actions de réduction du risque radon.
- Financement par l'ASN, en Pays de la Loire, de **quatre nouvelles actions** visant à ce que les particuliers réalisent des campagnes de mesures volontaires du radon dans leur habitat (la division a participé aux réunions de lancement de ces campagnes).
- Réponse de la division à une **vingtaine de sollicitations** d'ERP, employeurs et habitants sur la problématique du radon.

BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ – Division de Dijon

- Réflexions en cours sur la création d'un **réseau régional santé/environnement** qui permettrait la coordination et l'animation des acteurs de la gestion du risque lié au radon et la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments.
- Plusieurs objectifs de ce réseau sont visés : donner une **vision globale des enjeux** à ses membres, les mettre en **synergie**, favoriser la déclinaison des orientations nationales et accompagner le **déploiement de nouveaux projets collectifs**. Il s'appuierait sur la plateforme numérique issue du projet JURAD-BAT et contribuerait à son développement.

NOUVELLE-AQUITAINE / OCCITANIE – Division de Bordeaux

- Mise en place, en 2020, d'un **plan de communication** par la division, l'ARS, la Dreetts et la Dreal pour les élus et les responsables d'ERP dont l'objectif est l'accompagnement dans la mise en œuvre des nouvelles dispositions réglementaires.
- **Action pérennisée en 2021** par la réponse aux sollicitations des publics visés : mairies, établissements de santé, établissements d'enseignement, collectivités, etc.

GRAND EST – Divisions de Strasbourg et Châlons-en-Champagne

- **Actions de sensibilisation** par les deux divisions dans le cadre du Plan régional de santé environnement 3 (PRSE 3), notamment auprès des élus de la communauté de communes Vallées et Plateau d'Ardenne (08).

PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR / OCCITANIE – Division de Marseille

- Présentation lors de deux réunions avec les élus et les services techniques de la ville de Marseille, de la réglementation et, avec l'appui de l'IRSN, des **modalités de création de la cartographie radon** à l'échelle communale.

CENTRE-VAL DE LOIRE – Division d'Orléans

- Participation le 1^{er} décembre 2021 à une réunion d'information des élus de quatre communes du Cher concernées par la mise en place d'une campagne de dépistage. Cette réunion a permis de **présenter les enjeux liés au radon dans les habitations et de définir les modalités d'information des habitants** pour identifier les volontaires à l'installation de kits de mesure du radon.

ACTIONS DE CONTRÔLE

BRETAGNE / PAYS DE LA LOIRE – Division de Nantes

- **Deux inspections** des actions réalisées par les villes de Rennes et de la Roche-sur-Yon. Constat d'une **prise en compte contrastée** du risque radon pour ces communes: l'une ayant déployé des mesures et actions de réduction du risque radon pour le public et les travailleurs, l'autre ayant initié les démarches à fin 2021.

BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ – Division de Dijon

- **Inspection et constat** de la bonne conduite du dépistage initial du radon (en 2015) des Thermes de Saint-Honoré-les-Bains (Nièvre) où quatre locaux ont présenté des dépassements modérés du niveau de référence avec la **mise en œuvre d'actions de remédiation** (sans toutefois que l'efficacité des travaux de rénovation ait été vérifiée). Par ailleurs, le radon n'a pas été pris en considération dans l'évaluation des risques pour les travailleurs.
- **Inspection et constat** de la bonne conduite du dépistage initial du radon auprès du conseil départemental de Saône-et-Loire avec la **mise en œuvre effective du dépistage et d'actions de remédiation** pour l'ensemble des collèges du département; quelques concentrations en radon supérieures à 300 Bq/m³ subsistent pour quelques établissements et des expertises des bâtiments sont en cours. Par ailleurs, la prise en compte du radon dans l'évaluation des risques pour les travailleurs a été initiée pour deux établissements (musée du Solutré et grotte d'Azé), mais elle reste à déployer pour l'ensemble des autres lieux de travail.

GRAND EST – Divisions de Strasbourg et Châlons-en-Champagne

- **Contrôle** de deux établissements thermaux.
- **Poursuite des inspections** de gestionnaires d'ERP et de lieux de travail en 2022.

PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR / OCCITANIE – Division de Marseille

- **Inspection** conjointe de la **ville de Toulon** par la division et l'ARS PACA.
- Participation de la division à la gestion d'un fort dépassement du niveau de référence au sein d'un établissement scolaire, à Meyrueis (Lozère).

AUVERGNE-RHÔNE-ALPES – Division de Lyon

- **Inspection des conseils départementaux** de l'Allier, de l'Ardèche et de la Savoie et la métropole de Lyon. Constat du besoin de **réaliser un suivi dans le temps** des actions mises en œuvre par ces établissements pour réduire les expositions au radon.

NORMANDIE – Division de Caen

- **Inspection au sein du conseil départemental** du Calvados qui a notamment en charge l'ensemble des collèges du département. **Les actions de prévention** prévues par la nouvelle réglementation ont été **déclinées de manière satisfaisante** par le gestionnaire des établissements. Constat du besoin de **poursuivre cette démarche**.

En outre, les inspections de la radioprotection conduites en 2021 dans des établissements médicaux ou industriels situés sur des communes à potentiel radon significatif ont été mises à profit par certaines divisions pour expliciter les obligations réglementaires des employeurs sur les lieux de travail. À ce titre et à l'instar de l'année 2020, l'ASN a pu constater une prise en compte de plus en plus fréquente du radon dans l'évaluation des risques pour les travailleurs.

Les divisions ont, par ailleurs, contribué à l'inspection des organismes agréés pour le mesurage du radon dans les établissements recevant du public (14 inspections).

Plusieurs autres actions de sensibilisation ou de contrôle, prévues en 2021, ont été reportées en raison de la pandémie.

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

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