

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

1	ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LES DANGERS ET RISQUES LIÉS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS	45
1 1	Les effets biologiques et les effets sanitaires	
1 2	L'évaluation des risques liés aux rayonnements ionisants	
1 3	Incertitudes scientifiques et vigilance	
1 3 1	Radiopathologies à forte dose	
1 3 2	Effets des faibles doses	
2	LES ACTIVITÉS NUCLÉAIRES	49
2 1	Les installations nucléaires de base	
2 1 1	Définition	
2 1 2	La prévention des risques accidentels et la sûreté nucléaire	
2 2	Le transport des matières radioactives ou fissiles à usage civil	
2 3	Les activités nucléaires de proximité	
2 4	L'élimination des déchets radioactifs	
2 5	Les sites contaminés	
2 6	Les activités industrielles générant un renforcement des rayonnements ionisants d'origine naturelle	
3	LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS	51
3 1	Les expositions de la population aux rayonnements d'origine naturelle	
3 1 1	Les rayonnements d'origine naturelle (hors radon)	
3 1 2	L'exposition au radon	
3 1 3	L'exposition externe due aux rayonnements cosmiques	
3 2	Les doses reçues par les travailleurs	
3 2 1	L'exposition des travailleurs des activités nucléaires	
3 2 2	L'exposition des travailleurs aux rayonnements naturels renforcés	
3 2 3	L'exposition des personnels navigants aux rayonnements cosmiques	
3 3	Les doses reçues par la population du fait des activités nucléaires	
3 4	Les doses reçues par les patients	
3 5	La protection des espèces non-humaines	
4	PERSPECTIVES	60

CHAPITRE 1

Les activités nucléaires sont définies par le code de la santé publique comme « les activités comportant un risque d'exposition des personnes aux rayonnements ionisants, émanant soit d'une source artificielle, qu'il s'agisse de substances ou de dispositifs, soit d'une source naturelle lorsque des radionucléides naturels sont traités ou l'ont été en raison de leurs propriétés radioactives, fissiles ou fertiles, ainsi que les interventions destinées à prévenir ou réduire un risque radiologique consécutif à un accident ou à une contamination de l'environnement ». Ces activités nucléaires incluent celles qui sont menées dans les installations nucléaires de base (INB) et dans le cadre du transport des matières radioactives, mais aussi dans toutes les installations médicales, vétérinaires, industrielles et de recherche et où sont utilisés les rayonnements ionisants.

Les différents principes auxquels doivent répondre les activités nucléaires, et notamment les principes de sûreté nucléaire et de radioprotection sont présentés au chapitre 3.

Au-delà des effets des rayonnements ionisants, les installations nucléaires de base sont, comme toute installation industrielle, à l'origine de risques et de nuisances non radiologiques telles que les rejets de substances chimiques dans l'environnement ou l'émission de bruit. Les dispositions relatives à la protection de l'environnement sont présentées au chapitre 3.

1 ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LES DANGERS ET 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, tous caractérisés 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 du rayonnement électromagnétique (rayons X ou rayons gamma), les rayonnements ionisants interagissent avec les atomes et les molécules constitutifs 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 ou endogènes (résultant du métabolisme cellulaire).

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

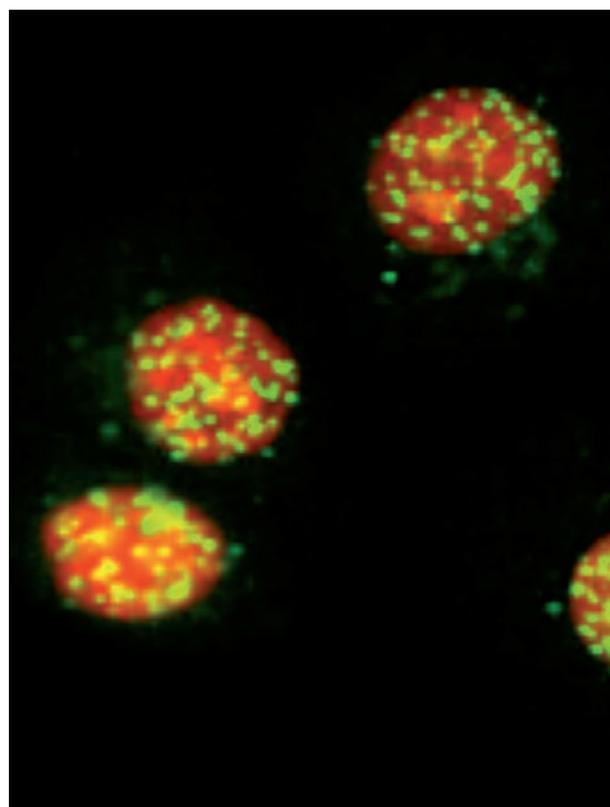
Ces effets, appelés « effets déterministes », sont connus de longue date puisque les premiers effets ont été observés dès la découverte des rayons X par Röntgen. Ils apparaissent de façon certaine dès que la quantité de rayonnements absorbée dépasse, selon le type de tissu exposé, un certain niveau de dose. Parmi ces effets, citons par exemple l'érythème, la radiodermite, la radionécrose et la cataracte. Les effets sont d'autant plus importants 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 les anomalies résiduelles d'ordre génétique peuvent être transmises par divisions cellulaires successives à de nouvelles cellules. Une mutation génétique est encore loin d'une transformation

en cellule cancéreuse mais la lésion due aux rayonnements ionisants peut constituer une première étape vers la cancérisation.

La suspicion d'un lien de causalité entre la survenue d'un cancer et une exposition aux rayonnements ionisants remonte au début du XX^e siècle (observation d'un cancer de la peau sur une radiodermite).

Depuis, plusieurs types de cancer ont été observés en milieu professionnel, dont les leucémies, les cancers broncho-pulmonaires



Lésions double brins de l'ADN visualisées par le marquage en immunofluorescence de foci gamma-H2AX (verts) au sein de noyaux (rouges) de cellules irradiées

par inhalation de radon et les sarcomes osseux. Hors du domaine professionnel, le suivi d'une cohorte d'environ 85 000 personnes irradiées à Hiroshima et Nagasaki a permis de faire le point sur la morbidité et la mortalité par cancer après exposition aux rayonnements ionisants. D'autres travaux épidémiologiques, par exemple, 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 qui, du fait des iodures radioactifs rejetés, a provoqué dans les régions proches du lieu de l'accident un excès de cancers de la thyroïde de l'enfant.

L'apparition des effets cancérogènes n'est pas liée à un seuil de dose, seule une probabilité d'apparition peut être énoncée pour un individu donné. C'est le cas de la survenue des cancers radio-induits. On parle alors d'effets probabilistes, stochastiques ou aléatoires.

Établis au plan international, les objectifs sanitaires de la radioprotection visent à éviter l'apparition des effets déterministes mais aussi à réduire les probabilités d'apparition de cancers radio-induits.

1|2 L'évaluation des risques liés aux rayonnements ionisants

La surveillance des cancers est organisée autour de plusieurs registres départementaux (10 registres départementaux couvrant 11 départements soit environ 15 % de la population générale) et de registres spécialisés (12 registres spécialisés dont 2 registres nationaux des cancers de l'enfant de moins de 15 ans concernant les hémopathies malignes et les tumeurs solides de l'enfant).

Dans une zone couverte par un registre, l'objectif est de mettre en évidence des différences spatiales d'incidence et de dégager les tendances en termes d'augmentation ou de diminution d'incidence des différentes localisations cancéreuses au cours du temps ou encore de repérer un agrégat de cas. À

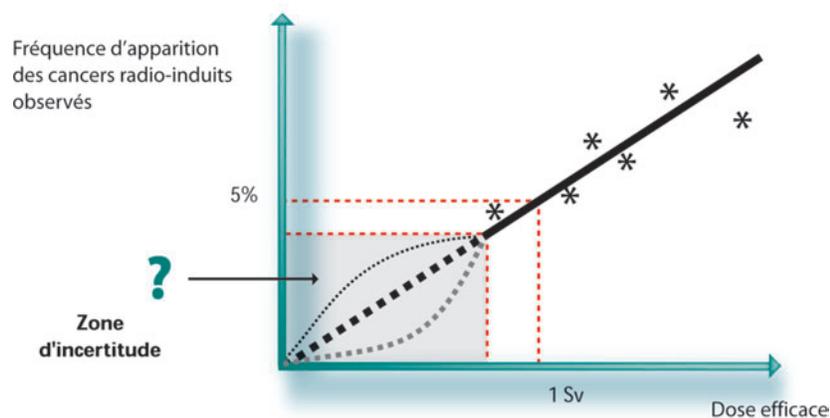
vocation descriptive, ce mode de surveillance ne permet pas d'identifier les cancers radio-induits car ceux-ci ne sont pas spécifiques des rayonnements ionisants.

L'investigation épidémiologique est une tâche complémentaire de la surveillance. Les enquêtes épidémiologiques ont vocation à 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 à permettre d'affirmer qu'une telle relation causale avec une très forte probabilité existe. On retiendra cependant la difficulté à mener ces enquêtes ou 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 caractérise les expositions aux rayonnements ionisants inférieures à 100 milliSievert (mSv). Ainsi, les études épidémiologiques n'ont pu mettre en évidence des pathologies liées aux rayonnements ionisants que pour des doses de rayonnements relativement élevées, avec des débits de dose élevés (exemple : suivi des populations exposées lors des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki).

Dans une optique de gestion du risque, il est alors fait appel à la technique de l'évaluation des risques qui, au moyen de calculs, permet, en extrapolant les risques observés aux plus fortes doses, d'estimer les risques encourus lors d'une exposition aux faibles doses de rayonnements ionisants. Pour ces estimations, a été adoptée sur le plan international l'hypothèse prudente d'une relation linéaire sans seuil entre l'exposition et le nombre de décès par cancer (voir diagramme 1). La légitimité de ces estimations reste cependant controversée au niveau scientifique.

Sur la base des travaux scientifiques de l'UNSCEAR, la Commission internationale de protection radiologique (voir publication CIPR 103, chapitre 3 point 1 | 1 | 1) a publié les coefficients de risque de décès par cancer dû aux rayonnements ionisants, soit 4,1 % d'excès de risque par sievert (Sv) pour les travailleurs et 5,5 % par sievert pour la population générale. L'utilisation de ce modèle conduirait à estimer à environ 7 000 le nombre de décès annuels par cancer en France dus aux rayonnements naturels.

Diagramme 1 : relation linéaire « dose-effets » (sans seuil)



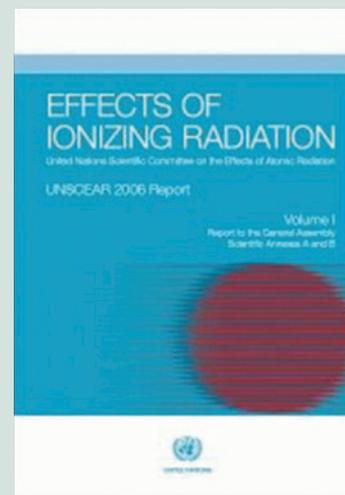
UNSCEAR

Le Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) a été créé en 1955 lors de la 10^e session de l'Assemblée générale des Nations unies. Il rassemble 21 pays et rend compte à l'Assemblée générale des Nations unies. C'est un organisme à caractère scientifique qui valide et cautionne les résultats d'études nationales ou internationales relatives aux effets des rayonnements ionisants sur l'homme.

Dernières publications - Effets des rayonnements ionisants (2006).

Volume 1 – annexe A (Épidémiologie des cancers radio-induits) et annexe B (Épidémiologie des maladies cardiovasculaires et des maladies autres que les cancers causés par les rayonnements).

Volume 2 – annexe C (Effets non ciblés et retardés des rayonnements ionisants), annexe D (Leurs effets sur le système immunitaire) et annexe E (Bilan des relations source-effets pour le radon domestique et professionnel).



Rapport UNSCEAR 2006
« Effects of ionizing radiation »

L'évaluation du risque de cancer du poumon dû au radon fait l'objet d'une modélisation spécifique, fondée sur l'observation des données épidémiologiques chez les travailleurs des mines. En retenant l'hypothèse d'une relation linéaire sans seuil pour les expositions à faible dose, le risque relatif lié à l'exposition au radon, pour une concentration de radon égale à 230 becquerels par m³ (Bq/m³), serait du même ordre que celui lié au tabagisme passif (Académie des sciences USA, 1999).

1|3 Incertitudes scientifiques et 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 mais pas d'atteindre le risque zéro, qu'il s'agisse par exemple des doses reçues par les travailleurs ou de celles associées aux rejets des INB. De nombreuses incertitudes et inconnues persistent ; 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 à faible dose.

On peut citer, en particulier, plusieurs exemples de zones d'incertitude, concernant les radiopathologies à forte dose, les effets des faibles doses et la protection de l'environnement.

1|3|1 Radiopathologies à forte dose

L'hypersensibilité aux rayonnements ionisants – Les effets des rayonnements ionisants sur la santé des personnes varient d'un individu à l'autre. On sait par exemple, depuis que cela a été énoncé pour la première fois par Bergonié et Tribondeau en 1906, que la même dose n'a pas le même effet selon qu'elle est reçue par un enfant en période de croissance ou par un adulte.

Une hypersensibilité individuelle aux fortes doses de rayonnements ionisants a été bien documentée par les radiothérapeutes et les radiobiologistes. C'est le cas pour des anomalies génétiques de la réparation de l'ADN et de la signalisation cellulaire qui font que certains patients pourront présenter une hypersensibilité extrême pouvant conduire à des « brûlures radiologiques ». Enfin, des patients sont plus sensibles pour développer des cancers. Au total, environ 5 % de la population est concernée par une hypersensibilité aux rayonnements ionisants.

Dès lors se posent des questions délicates dont certaines dépassent le cadre de la radioprotection et ont un caractère éthique :

- les enfants doivent faire l'objet d'une attention particulière en matière de radioprotection lors d'expositions aux rayonnements ionisants d'origine médicale ;
- dès lors que les radiobiologistes ont développé des tests de mise en évidence de l'hyper-radiosensibilité individuelle, le dépistage individuel avant toute radiothérapie doit-il être prôné ?
- doit-on rechercher l'hypersensibilité éventuelle d'un travailleur susceptible d'être exposé aux rayonnements ionisants ?
- la réglementation générale devra-t-elle prévoir une protection particulière pour les personnes concernées par une hypersensibilité aux rayonnements ionisants ?

1|3|2 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 pratique 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 permet de progresser, les études épidémiologiques menées sur des cohortes importantes aussi. Mais face à la complexité des phénomènes de réparation et de mutation de l'ADN, face aux limites des méthodes utilisées par l'épidémiologie, les incertitudes demeurent et la précaution s'impose pour les pouvoirs publics.

La dose, le débit de dose et la contamination chronique – Les études épidémiologiques réalisées sur les personnes exposées aux bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki ont permis de mieux connaître les effets des rayonnements sur la santé, pour des expositions externes à forte dose et fort débit de dose. Les études entamées dans les pays les plus touchés par l'accident de Tchernobyl, la Biélorussie, l'Ukraine et la Russie, pourraient, elles aussi, faire avancer la connaissance sur l'effet des rayonnements sur la santé pour des expositions internes à plus faible dose et plus faible débit de dose, ainsi que sur les conséquences d'une exposition chronique aux rayonnements ionisants (par exposition externe et par contamination par la voie alimentaire), du fait de l'état de contamination durable de l'environnement.

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 d'Hiroshima et de Nagasaki. Cependant, les 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 allèle restera invisible tant que l'allèle porté par l'autre chromosome ne sera pas atteint ; si elle n'est pas nulle, la probabilité de ce type d'événement reste cependant faible.

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 lors des atteintes portées à l'environnement. Au-delà de la protection de l'environnement tournée vers la protection de l'homme et des générations présentes ou futures, on peut aussi envisager la protection de la nature, au nom de

l'intérêt propre des espèces animales ou des droits de la nature (voir point 3 | 5). La protection des espèces non humaines fait désormais partie des recommandations de la CIPR (CIPR 103).



Préparation de tests destinés à vérifier la capacité de certaines enzymes à réparer l'ADN endommagé

À NOTER

Leucémies de l'enfant

L'ASN, la Direction générale de la santé (DGS) et la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) ont mis en place en 2008 un groupe de travail pluraliste sur les risques de leucémies autour des installations nucléaires de base (INB). Ce groupe, présidé par Madame le Professeur Danièle Sommelet, a été chargé de porter une appréciation sur les connaissances disponibles concernant ce risque chez les enfants vivant au voisinage de ces installations. Le rapport disponible début 2011, fera un point sur les connaissances scientifiques disponibles sur cette pathologie et établira des recommandations préconisant des actions nouvelles pour établir une caractérisation clinico-biologique des leucémies, pour identifier et caractériser les sites d'intérêt dans le champ des activités nucléaires, pour engager une réflexion sur l'éthique et les modalités d'une information « intelligible et honnête » répondant aux attentes de la population et pour favoriser la mise en place d'une structure de veille scientifique et de coopération internationale.

2 LES ACTIVITÉS NUCLÉAIRES

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

- les installations nucléaires de base ;
- le transport des matières radioactives et fissiles à usage civil ;
- les activités nucléaires de proximité ;
- l'élimination des déchets radioactifs ;
- les sites contaminés ;
- les activités générant un renforcement des rayonnements ionisants d'origine naturelle.

2|1 Les installations nucléaires de base

2|1|1 Définition

Les installations nucléaires sont réglementairement classées dans différentes catégories correspondant à des procédures plus ou moins contraignantes selon l'importance des risques potentiels (voir chapitre 3, point 3). Les principales installations nucléaires fixes, sont :

- les réacteurs nucléaires, à l'exception de ceux qui font partie d'un moyen de transport (sous-marin par exemple) ;
- les accélérateurs de particules ;
- les usines de séparation, de fabrication ou de transformation de substances radioactives, notamment les usines de fabrication de combustibles nucléaires, de traitement de combustibles irradiés ou de conditionnement de déchets radioactifs ;



Inspection « environnement » à la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine par l'ASN – Juin 2010

- les installations destinées au stockage, au dépôt ou à l'utilisation de substances radioactives, y compris les déchets.

Les installations nucléaires qui ne sont pas considérées comme des INB peuvent être soumises au régime des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) (voir chapitre 3, point 3).

La liste des INB au 31 décembre 2010 figure à l'annexe A.

2|1|2 La prévention des risques accidentels et la sûreté nucléaire

L'option fondamentale sur laquelle repose le système d'organisation et de réglementation spécifique de la sûreté nucléaire est celle de la responsabilité première 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 et, plus particulièrement, pour respecter les mêmes règles générales que celles qui sont applicables à l'ensemble des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants (voir chapitre 3) (organisation du travail, prévention des accidents, tenue de registres, suivi médical des travailleurs des entreprises extérieures...).

Pour les questions visant 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 de la population. Plus particulièrement, l'impact des rejets d'effluents liquides et gazeux, radioactifs ou non radioactifs, sur la santé des populations vivant au voisinage des installations et sur l'environnement doit être strictement limité (voir chapitre 4).

2|2 Le transport des matières radioactives ou fissiles à usage civil

Lors du transport de matières radioactives ou fissiles, les risques essentiels sont ceux d'exposition interne ou externe, de criticité ou de nature chimique. La sûreté du transport de matières radioactives s'appuie sur une logique de défense en profondeur :

- le colis, constitué par l'emballage et son contenu, est la première ligne de défense. Il joue un rôle essentiel et doit résister aux conditions de transport envisageables ;
- le moyen de transport et sa fiabilité constituent la deuxième ligne de défense ;
- enfin, la troisième ligne de défense est constituée par les moyens d'intervention mis en œuvre face à un incident ou un accident.

La responsabilité première de la mise en œuvre de ces lignes de défense repose sur l'expéditeur.

2|3 Les activités nucléaires de proximité

Les rayonnements ionisants, qu'ils soient générés par des radionucléides ou par des appareils électriques (rayons X), sont utilisés dans de très nombreux domaines dont la médecine (radiologie, radiothérapie, médecine nucléaire), la biologie humaine, la recherche, l'industrie, mais aussi pour des applications vétérinaires, médico-légales ou destinées à 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 doit également mettre en place les dispositions prévues par le code de la santé publique pour assurer la gestion des sources de rayonnements ionisants qu'il détient, notamment les sources radioactives, assurer, le cas échéant, la gestion des déchets produits et limiter les rejets des effluents liquides et gazeux. Dans le cas d'utilisation à des fins médicales, les questions concernant la protection des patients sont également étudiées (voir chapitre 3).

2|4 L'élimination des déchets radioactifs

Comme toutes les activités industrielles, les activités nucléaires peuvent générer des déchets. Certains de ceux-ci 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. Pour les déchets très faiblement radioactifs, l'application d'une gestion fondée sur ces principes exclut, pour être pleinement efficace, toute fixation d'un seuil universel de libération du contrôle réglementaire.

Les dispositions techniques de gestion à mettre en œuvre doivent être adaptées au risque présenté par les déchets radioactifs. Ce risque peut être appréhendé principalement au travers de deux paramètres : l'activité, qui contribue à la toxicité



Inspection « déchets » à la centrale nucléaire de Penly par l'ASN – Juin 2010

du déchet, et la durée de vie définie par 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 :

- d'optimiser les filières de gestion de déchets ;
- de s'assurer de la maîtrise des 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).

2|5 Les sites contaminés

La gestion des sites contaminés du fait d'une radioactivité résiduelle résultant soit d'une activité nucléaire passée soit d'une activité ayant généré des dépôts de radionucléides naturels justifie des actions spécifiques de radioprotection, notamment dans le cas où une réhabilitation est envisagée.

Compte tenu des usages du site, actuels ou futurs, des objectifs de décontamination doivent être établis, et l'élimination des déchets produits lors de l'assainissement des locaux et des terres contaminées doit être maîtrisée, depuis le site jusqu'à l'entreposage ou le stockage.

2|6 Les activités industrielles générant un renforcement des rayonnements ionisants d'origine naturelle

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

Ainsi, certaines activités professionnelles qui n'entrent pas dans la définition des « activités nucléaires » peuvent 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 dans le cas de rejets d'effluents ou d'élimination de déchets faiblement radioactifs. Il s'agit en particulier d'activités qui font appel à des matières premières, à des matériaux de construction ou à des résidus industriels contenant des radionucléides naturels non utilisés pour leurs propriétés radioactives, fissiles ou fertiles.

Les familles naturelles de l'uranium et du thorium sont les principaux radionucléides rencontrés. Parmi les industries concernées, on peut citer les industries d'extraction du phosphate et de fabrication des engrais phosphatés, les industries des pigments de coloration, notamment celles utilisant de l'oxyde de titane et celles exploitant les minerais de terres rares dont la monazite.

Les actions de radioprotection à mener dans ce domaine reposent sur l'identification précise des activités, l'estimation de l'impact des expositions pour les personnes concernées, la mise en place d'actions correctives pour réduire, si nécessaire, ces expositions, et leur contrôle.

3 LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

Les systèmes de surveillance des pathologies mis en place (registres du cancer par exemple) ne permettent pas de distinguer celles qui pourraient être attribuées aux rayonnements ionisants. Nous ne disposons pas non plus d'indicateurs biologiques, fiables et faciles à mesurer, qui permettraient de reconstituer aisément les doses auxquelles ont été soumises les personnes. Dans ce contexte, la « surveillance du risque » est réalisée par la mesure d'indicateurs de la radioactivité ambiante, au mieux par la mesure des débits de dose liés à l'exposition externe des personnes aux rayonnements ionisants ou de la contamination interne ou, à défaut, par la mesure de grandeurs (concentration de radionucléides 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 potentiellement exposée à des rayonnements ionisants d'origine naturelle ou ayant pour origine des activités humaines, mais de façon inégale sur le territoire. L'exposition de la population française est estimée à 3,7 mSv par personne et par an, mais cette exposition présente une grande variabilité individuelle, notamment selon la localisation du lieu d'habitation et le nombre d'exams radiologiques reçus (source : IRSN 2010). Selon les lieux, la dose efficace individuelle annuelle moyenne peut varier d'un facteur 2 à 5. Le diagramme 2 représente une estimation des contributions respectives des différentes sources d'exposition de la population française aux rayonnements ionisants.

Ces données restent cependant trop imprécises pour identifier, dans chaque catégorie de sources d'exposition, les catégories ou groupes de personnes les plus exposés.

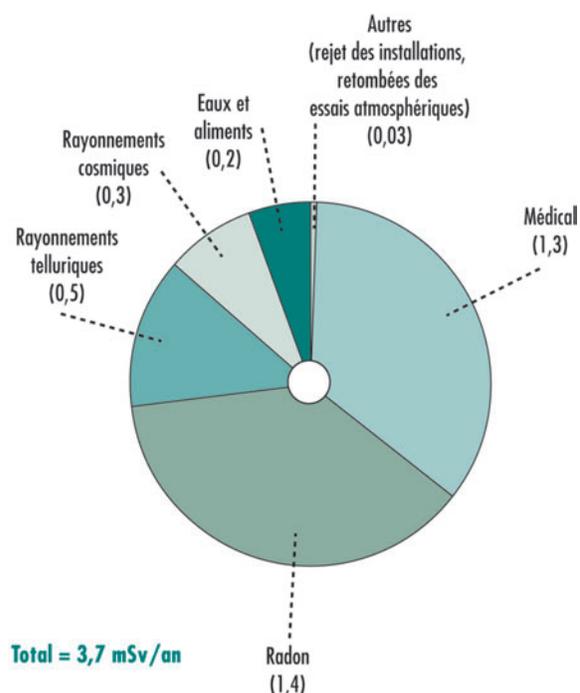
3|1 Les expositions de la population aux rayonnements d'origine naturelle

Les expositions de la population aux rayonnements ionisants d'origine naturelle résultent depuis toujours 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. L'exposition à la radioactivité naturelle représente en moyenne environ 73 % de l'exposition totale annuelle.

3|1|1 Les rayonnements d'origine naturelle (hors radon)

Les radionucléides naturels d'origine terrestre sont présents à des teneurs diverses dans tous les milieux de notre environnement, y compris dans l'organisme humain. Ils conduisent à une exposition externe de la population du fait des émissions de rayonnement gamma produites par les chaînes de l'uranium 238 et du thorium 232 et par le potassium 40 présents dans les sols, mais aussi à une exposition interne par inhalation de particules remises en suspension, par ingestion de denrées alimentaires ou d'eau de consommation.

Diagramme 2 : exposition aux rayonnements ionisants de la population en France



Source : IRSN 2010

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

Les valeurs de débit de dose à l'intérieur des habitations sont généralement plus élevées du fait de la contribution des matériaux de construction (environ 20 % en plus, en moyenne).

À partir d'hypothèses sur les taux de présence des individus à l'intérieur et à l'extérieur des habitations (respectivement 90 % et 10 %), la dose efficace annuelle moyenne due à l'exposition externe aux rayonnements gamma d'origine tellurique est estimée en France à environ 0,5 mSv par personne et par an.

Les doses dues à l'exposition interne d'origine naturelle varient selon les quantités incorporées de radionucléides des familles de l'uranium et du thorium via la chaîne alimentaire qui dépendent des habitudes alimentaires de chacun. Selon l'UNSCEAR (2000), la dose moyenne par individu serait de l'ordre de 0,23 mSv par an. La concentration moyenne du potassium 40 dans l'organisme représente environ 55 Bq par kg ; il en résulte une dose efficace annuelle moyenne de l'ordre de 0,18 mSv.

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. Pour les eaux présentant une radioactivité élevée, la dose efficace annuelle résultant d'une consommation quotidienne (2 litres/hab/jour) peut atteindre quelques dizaines ou centaines de microsieverts (μSv).

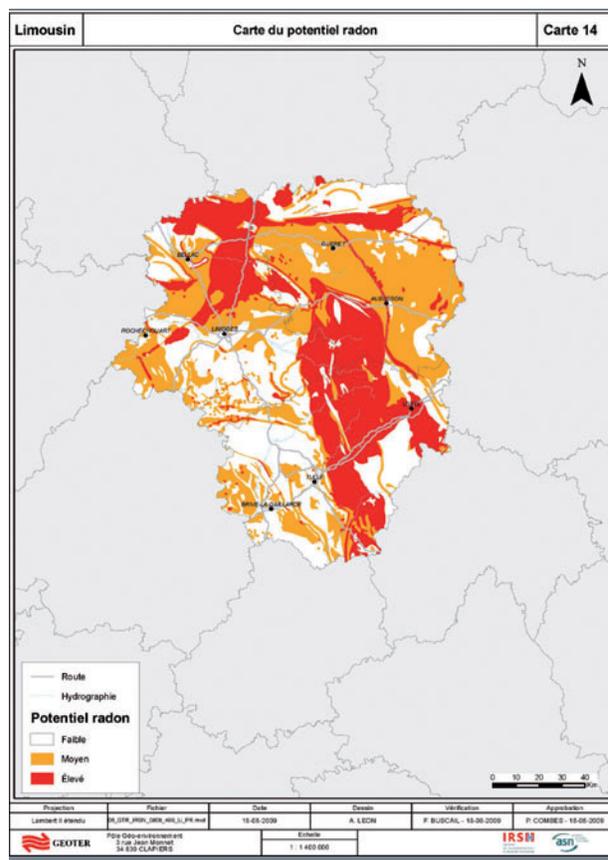
Les résultats de la surveillance de la qualité radiologique des eaux distribuées au robinet exercée par les services du ministère de la Santé entre 2005 et 2007 (rapport DGS/ASN/IRSN publié en 2009) ont montré que 99,86 % de la population bénéficie d'une eau dont la qualité respecte en permanence la dose totale indicative de 0,1 mSv/an fixée par la réglementation. Un nouveau rapport sur ce sujet est attendu début 2011.

3 | 2 L'exposition au radon

Ciblée sur le risque pour la population générale mais aussi pour les travailleurs, la surveillance de l'exposition des personnes au radon dans les lieux ouverts au public constitue également une action prioritaire de radioprotection dans les zones géographiques présentant un potentiel élevé d'exhalaison de radon du fait des caractéristiques géologiques des terrains en place. Une stratégie de réduction de ces expositions est nécessaire dans le cas où les mesures réalisées dépassent les niveaux d'actions réglementaires.

L'exposition au radon dit « domestique » (radon dans les habitations) a été estimée par des campagnes de mesures qui ont donné lieu ensuite à des interprétations statistiques (voir atlas IRSN). La valeur moyenne des activités mesurées en radon a ainsi été estimée en France à 63 Bq/m³, avec environ la moitié des résultats inférieurs à 50 Bq/m³, 9 % supérieurs à 200 Bq/m³ et 2,3 % au-dessus de 400 Bq/m³.

Ces mesures ont permis de classer les départements en fonction du potentiel d'exhalaison du radon des terrains (voir chapitre 3 point 2). Pour des raisons d'ordre méthodologique, les résultats de cette surveillance restent, toutefois, trop imprécis pour évaluer précisément les doses liées à l'exposition à laquelle les particuliers sont réellement soumis.



Cartographie du potentiel d'exhalaison du radon dans le département du Limousin en 2009

Dans les lieux ouverts au public, et notamment dans les établissements d'enseignement et dans les établissements sanitaires et sociaux, des mesures de radon sont réalisées depuis 1999.

Depuis août 2008, cette surveillance a été étendue aux lieux de travail situés dans les zones géographiques prioritaires. Elle devrait être étendue aux bâtiments d'habitation à partir de 2012.

Le bilan des campagnes réalisées depuis 2005 par les organismes agréés par l'ASN est présenté dans le tableau 1. Les pourcentages de résultats de mesures supérieures aux niveaux d'action (400 et 1000 Bq/m³) restent comparables d'une

Tableau 1 : bilan des campagnes de mesures du radon réalisées depuis 2005

Campagne de mesures	Nombre d'établissements contrôlés	Établissements classés inférieur à 400 Bq/m ³		Établissements classés entre 400 Bq/m ³ et 1 000 Bq/m ³		Établissements classés supérieur à 1 000 Bq/m ³	
		nombre	%	nombre	%	nombre	%
2005/2006	2 970	2 570	87	314	10	82	3
2006/2007	3 000	2 560	85	315	11	125	4
2007/2008	1 204	952	79	174	15	78	6
2008/2009	800	659	82	94	12	47	6
2009/2010	510	409	80	78	15	23	5

année sur l'autre. La diminution du nombre de mesures lors de la dernière campagne indique que le dépistage des établissements, initié en 1999, est pratiquement achevé. Depuis 2009, un nouveau cycle de dépistage (10 ans) a été entamé.

Enfin, l'exposition des personnels navigants aux rayonnements cosmiques, renforcée du fait de séjours prolongés en altitude, mérite également une surveillance dosimétrique (voir point 3|2|3).

3|1|3 L'exposition externe due aux rayonnements cosmiques

Les rayonnements cosmiques sont de deux natures, une composante ionique et une composante neutronique. Au niveau de la mer, la composante ionique est estimée à 32 nSv par heure et la composante neutronique à 3,6 nSv par heure. La dose moyenne due aux rayonnements cosmiques est estimée en France à 0,3 mSv par personne et par an.

En prenant en compte le temps moyen passé à l'intérieur des habitations (l'habitat atténue la composante ionique des rayonnements cosmiques), la dose efficace individuelle moyenne dans une commune située au niveau de la mer, en France, est de 0,27 mSv par an, alors qu'elle peut dépasser 1,1 mSv par an dans une commune qui serait située à environ 2 800 m d'altitude. En moyenne, la dose efficace annuelle par individu en France est de 0,33 mSv par an. Elle est inférieure à la valeur moyenne mondiale de 0,38 mSv par an publiée par l'UNSCEAR.

3|2 Les doses reçues par les travailleurs

3|2|1 L'exposition des travailleurs des activités nucléaires

Le système de surveillance des expositions externes des personnes travaillant dans les installations où sont utilisés les rayonnements ionisants a été mis en place depuis plusieurs décennies. Fondé sur le port obligatoire du dosimètre passif pour les travailleurs susceptibles d'être exposés, il permet de vérifier le respect des limites réglementaires applicables aux travailleurs; les données enregistrées permettent de connaître la dose d'exposition cumulée sur une période déterminée (mensuelle ou trimestrielle); elles sont rassemblées dans le système SISERI géré par l'IRSN et font l'objet d'une publication annuelle.

Le bilan de la surveillance dosimétrique de l'exposition externe des travailleurs en 2009 montre globalement l'efficacité du système de prévention mis en place dans les établissements où sont utilisées les sources de rayonnements ionisants puisque

Bilan de la surveillance dosimétrique de l'exposition externe des travailleurs aux rayonnements ionisants en 2009 (source : IRSN septembre 2010)

Effectif total surveillé : 319 091 travailleurs

Effectif surveillé ayant enregistré une dose inférieure au seuil d'enregistrement : 245 515 soit environ 77 %

Effectif surveillé ayant enregistré une dose comprise entre le seuil d'enregistrement et 1 mSv : 58 946 soit environ 18 %

Effectif surveillé ayant enregistré une dose comprise entre 1 mSv et 20 mSv : 14 616 travailleurs soit environ 4,6 %

Effectif surveillé ayant dépassé la dose efficace annuelle de 20 mSv : 14 dont 2 au-dessus de 50 mSv

Dose collective (somme des doses individuelles) : 65,68 homme.Sv

Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif ayant enregistré une dose supérieure au seuil d'enregistrement : 0,89 mSv

Bilan de la surveillance de l'exposition interne en 2009

Nombre d'examens de routine réalisés : 311 560 examens (dont moins de 0,3 % considérés positifs)

Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 384 travailleurs

Nombre d'examens de surveillance spéciale ou de contrôle réalisés : 10 473 (dont moins de 0,5 % est supérieur au seuil d'enregistrement)

Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée supérieur à 1 mSv : 18 travailleurs

Bilan de la surveillance de l'exposition aux rayonnements cosmiques en 2009 (aviation civile)

Dose collective pour 19 830 personnels navigants : 43,6 homme.Sv

Dose individuelle annuelle moyenne : 2,2 mSv

Tableau 2 : dosimétrie des travailleurs dans les INB, hors défense (année 2009-source IRSN)

	Nombre de personnes surveillées	Dose collective (homme.Sv)	Dose > 20 mSv
EDF (agents)	19 647	6,70	0
AREVA	13 333	5,89	0
CEA	7 139	0,33	0
Entreprises extérieures	17 743	11,83	1
Autres	706	0,07	0

Tableau 3 : dosimétrie des travailleurs dans les activités nucléaires de proximité (année 2009-source IRSN)

	Nombre de personnes surveillées	Dose collective (homme.Sv)	Dose > 20 mSv
Médecine	140 124	16,56	7
Dentaire	37 367	1,60	1
Vétérinaires	15 589	0,43	0
Industrie	32 769	17,88	5
Recherche	8 759	0,42	0
Divers	15 946	1,24	0

pour plus de 95 % des effectifs surveillés la dose annuelle est restée inférieure à 1 mSv (limite de dose efficace annuelle pour le public). Toutefois, ces statistiques ne traduisent pas totalement la réalité puisque dans quelques cas l'exposition du dosimètre ne correspond pas nécessairement à l'exposition du travailleur (dosimètres non portés mais exposés) et il se peut qu'occasionnellement certains travailleurs ne portent pas leur dosimètre.

Les tableaux 2 et 3 présentent, par domaine d'activité, la répartition des effectifs surveillés, de la dose collective et du nombre de dépassements de la limite annuelle de 20 mSv. Ils témoignent d'une très grande inégalité 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 (plus de 62 %), ne représente qu'environ

Diagramme 3 : évolution des effectifs surveillés par domaine d'activités, de 1996 à 2009 (source IRSN)

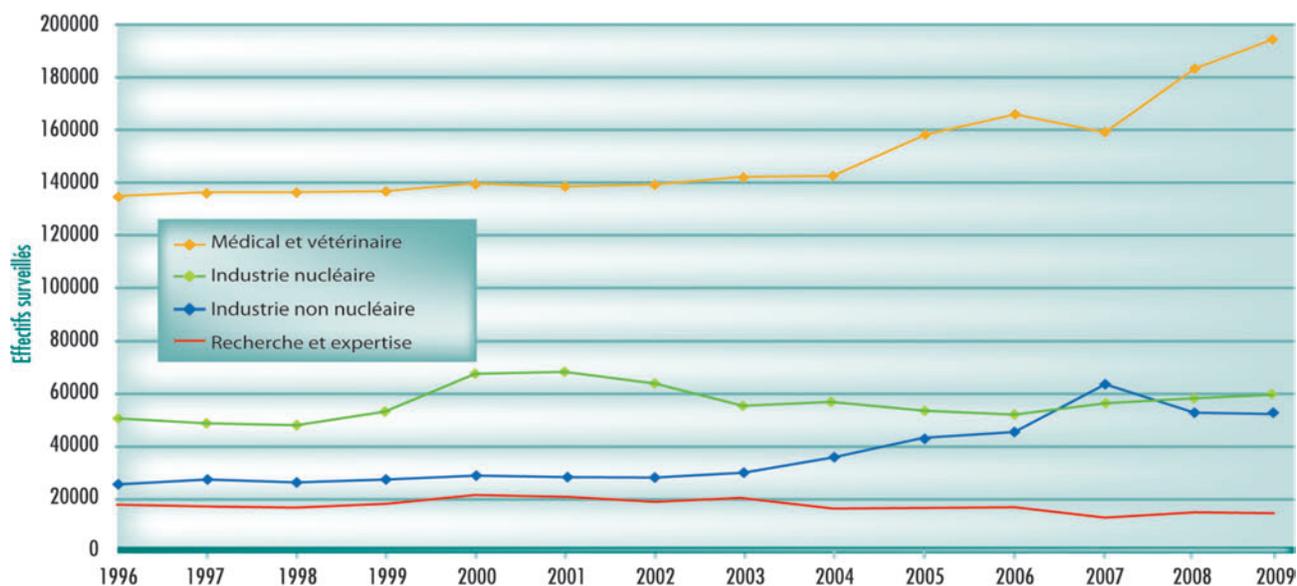


Diagramme 4 : évolution des effectifs surveillés et des doses collectives, de 1996 à 2009 (source IRSN)

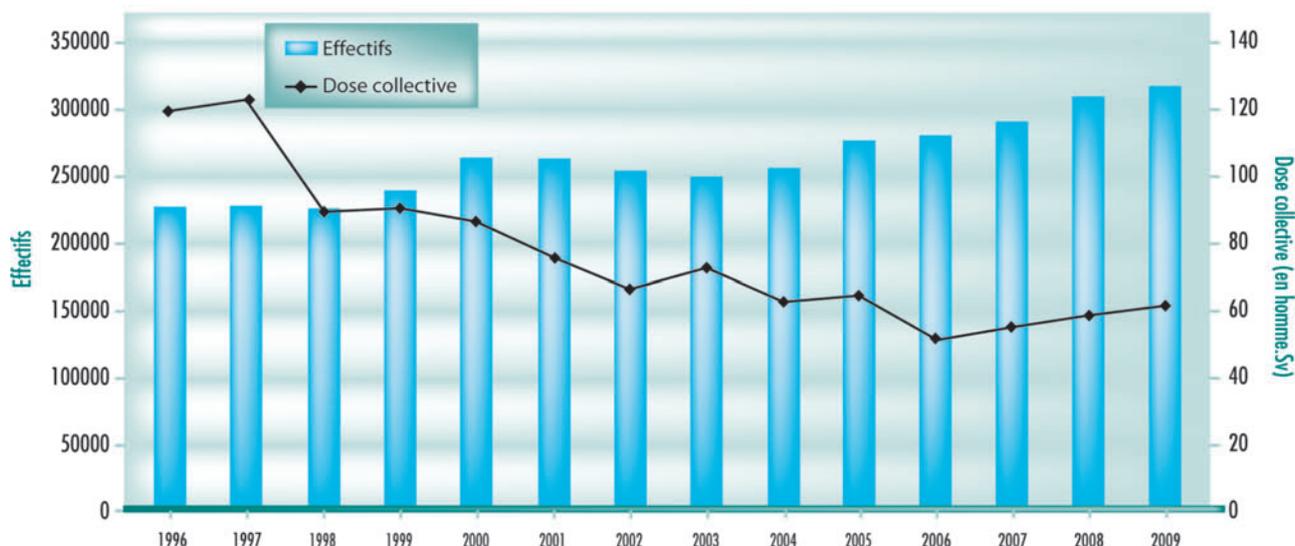


Diagramme 5 : évolution des doses collectives par domaine d'activité, de 1996 à 2009 (source IRSN)

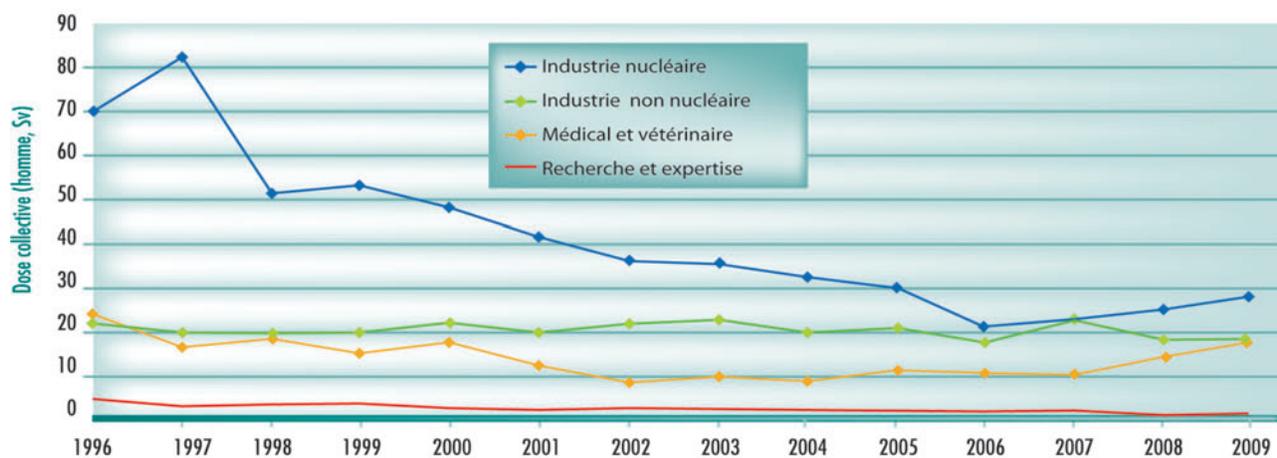
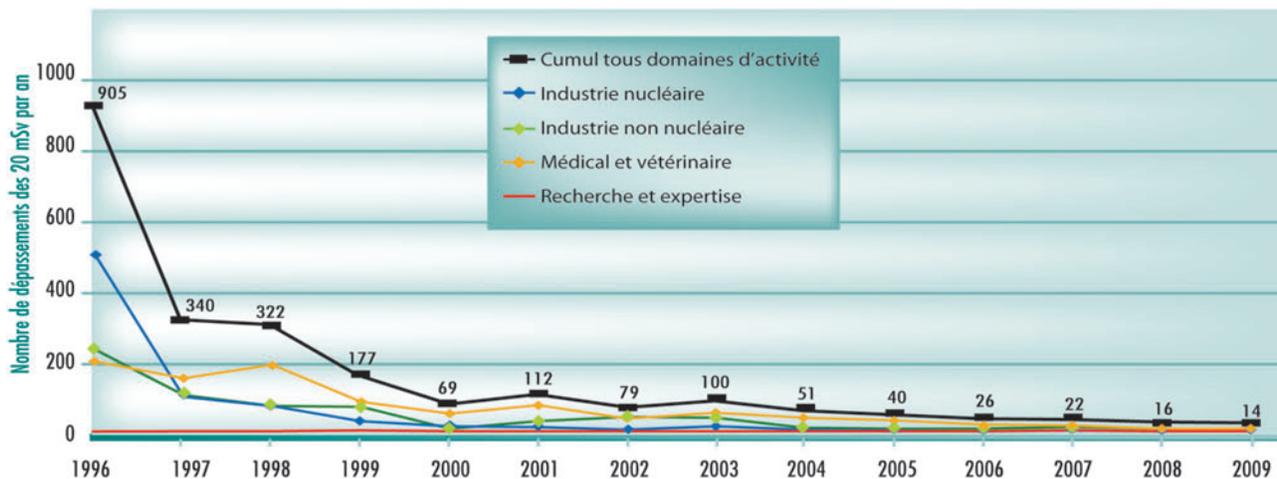


Diagramme 6 : évolution du nombre de travailleurs surveillés dont la dose efficace annuelle est supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2009 par domaine d'activité et cumul



30 % de la dose collective ; en revanche, le secteur des activités médicales comptabilise 8 dépassements de la limite annuelle de 20mSv (sur 14), mais aucun au-dessus de 50 mSv.

Les dernières statistiques publiées par l'IRSN en septembre 2010 montrent une progression légère mais régulière des effectifs faisant l'objet d'une surveillance dosimétrique depuis 2005 (voir diagramme 3), le cap des 320 000 personnes est presque atteint en 2009. Cette évolution est due pour une part importante à l'augmentation des effectifs surveillés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires qui s'est accélérée depuis 2005 (voir diagramme 4), avec la mise en œuvre progressive des dispositions du code du travail et des arrêtés d'application mises à jour entre 2003 et 2005, accompagnée d'actions d'information et de contrôle. La dose collective, composée de la somme des doses individuelles, est en régression (environ 45 %) depuis 1996 alors que les effectifs surveillés ont progressé d'environ 40 %. La démarche d'optimisation mise en place par les exploitants nucléaires au cours des années 90 explique cette évolution positive (voir diagrammes 5 et 6).

Le nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle a dépassé 20 mSv est également en nette diminution (voir diagramme 6). Chaque cas de dépassement doit donner lieu à une déclaration d'événement significatif par le responsable de l'activité nucléaire à l'ASN et fait l'objet d'une investigation particulière, en relation avec le médecin du travail, en collaboration éventuellement avec l'inspection du travail, conformément à la circulaire du 16 novembre 2007 relative à la coordination de l'action des inspecteurs de la radioprotection et des inspecteurs et contrôleurs du travail en matière de prévention des risques liés aux rayonnements ionisants.

Pour ce qui est de la dosimétrie des extrémités (bague et poignet), le nombre de travailleurs suivis est de 21 338 et la dose totale est de 128,6 Sv. Une dose annuelle aux extrémités supérieure à la limite réglementaire de 500 mSv a été enregistrée pour trois travailleurs du secteur de la radiologie médicale.

3|2|2 L'exposition des travailleurs aux rayonnements naturels renforcés

L'exposition des travailleurs aux rayonnements naturels renforcés résulte soit de l'ingestion de poussières de matières riches en radionucléides (phosphates, minerais métallifères), soit de l'inhalation de radon, formé par la décroissance de l'uranium (entrepôts mal ventilés, thermes) ou encore de l'exposition externe due aux dépôts dans des procédés (tartre se formant dans les tuyauteries par exemple).

Le bilan des études réalisées en France depuis 2005, publié par l'ASN en janvier 2010, montre que 83 % 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.

3|2|3 L'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.

Le système d'observation baptisé SIEVERT, mis en place par la Direction générale de l'aviation civile, l'IRSN, l'Observatoire de Paris et l'Institut français pour la recherche polaire Paul-Émile Victor (www.sievert-system.com), permet d'estimer l'exposition du personnel navigant aux rayonnements cosmiques, compte tenu des vols réalisés en cours d'année.

En 2009, 19 830 personnels navigants avaient leurs doses enregistrées dans SISERI. Quinze pour cent des doses individuelles annuelles sont inférieures à 1 mSv, et 85 % des doses sont comprises entre 1 mSv et 6 mSv.

3|3 Les doses reçues par 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 installations nucléaires de base (voir chapitre 4).

En revanche, il n'existe pas de méthode globale de surveillance permettant de reconstituer de façon exhaustive les doses reçues par la population du fait des activités nucléaires. De ce fait, le respect de la limite d'exposition de la population (dose efficace fixée à 1 mSv par an) n'est pas directement contrôlable. Cependant, pour les installations nucléaires de base, 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 microsieverts à quelques dizaines de microsieverts par an.

Ces estimations ne sont pas connues pour les activités nucléaires autres que les installations nucléaires de base. Des études méthodologiques sont nécessaires, en préalable, 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 conduit à des doses



Prélèvement d'eau de nappes phréatiques sur le site de la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine

de quelques microsieverts par an pour les personnes les plus exposées, notamment les égoutiers travaillant dans les réseaux d'assainissement (étude IRSN 2005).

Des situations héritées du passé telles que les essais nucléaires aériens et l'accident de Tchernobyl peuvent contribuer, de manière très faible, à l'exposition de la population. Ainsi la dose efficace individuelle moyenne reçue actuellement due aux retombées de l'accident de Tchernobyl est estimée entre 0,010 mSv et 0,030 mSv/an (IRSN 2001). Celles dues aux retombées des tirs atmosphériques avaient été estimées, en 1980, à environ 0,020 mSv; du fait d'un facteur de décroissance d'environ 2 en 10 ans, les doses actuelles sont estimées largement inférieures à 0,010 mSv par an (IRSN 2006).

3|4 Les doses reçues par les patients

Les expositions dues aux rayonnements ionisants d'origine médicale sont en augmentation dans la plupart des pays (source UNSCEAR). Ainsi, aux États-Unis, la moyenne de la dose efficace annuelle par personne est passée de 0,53 mSv en 1983 à 3 mSv en 2006. Dans le monde :

- le nombre d'examens radiologiques a progressé de 1,6 à 4 milliards entre 1993 et 2008, soit une augmentation de 250 %. En médecine nucléaire, environ 17 millions d'examens étaient réalisés chaque année dans les années 1970, avec un saut à 35 millions (+200 %) au début des années 2000 ;
- la part de la dose due à la scanographie représente 42 % des expositions médicales en 2008, contre 34 % en 2000 et dans les pays développés, la part des examens de scanographie est de 8 % alors que la dose associée représente 47 % des expositions médicales.

En France, la dose efficace moyenne par habitant du fait des examens radiologiques à visée diagnostique a été réévaluée : elle a augmenté entre 2002 et 2007 de 0,83 à 1,3 mSv par an et par habitant (la dernière mise à jour des données d'exposition, publiée en avril 2010 par l'IRSN et l'InVS, est basée sur des informations portant sur l'année 2007).

La radiologie conventionnelle regroupe le plus grand nombre d'examens (63 %) mais, en termes d'exposition, le scanner regroupe près de 58 % des doses délivrées aux patients (diagramme 7).

En 2007, de manière globale, le nombre d'actes et la dose efficace moyenne par habitant augmentent avec l'âge (diagrammes 8, 9 et 10) :

- chez le jeune enfant (moins de 1 an), les actes les plus fréquents et qui contribuent le plus à la dose efficace sont les radiographies du bassin (environ 0,2 acte par an et par enfant) et du thorax (environ 0,15 acte par an et par enfant) ;

Diagramme 7 : répartition des actes et des doses associées par domaine

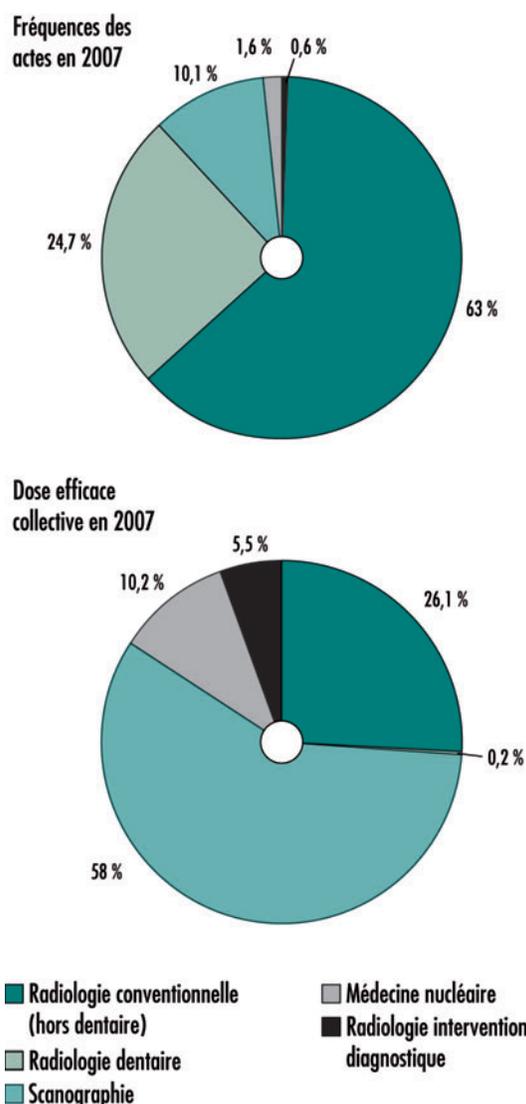


Tableau 4 : nombre moyen d'actes d'imagerie médicale et dose efficace moyenne en France en 2002 et 2007 (source IRSN)

Année	Nombre moyen d'actes		Dose efficace moyenne par habitant et par an
	total	par habitant	
2002 • (61,4 millions d'habitants)	73,3 millions	1,2	0,83 mSv
2007 • (63,7 millions d'habitants)	74,6 millions	1,2	1,3 mSv

Diagramme 8 : nombre moyen par individu d'actes de radiologie conventionnelle (hors dentaire endo-buccale) et de scanographie, selon le sexe et l'âge en 2007 (source IRSN/InVS)

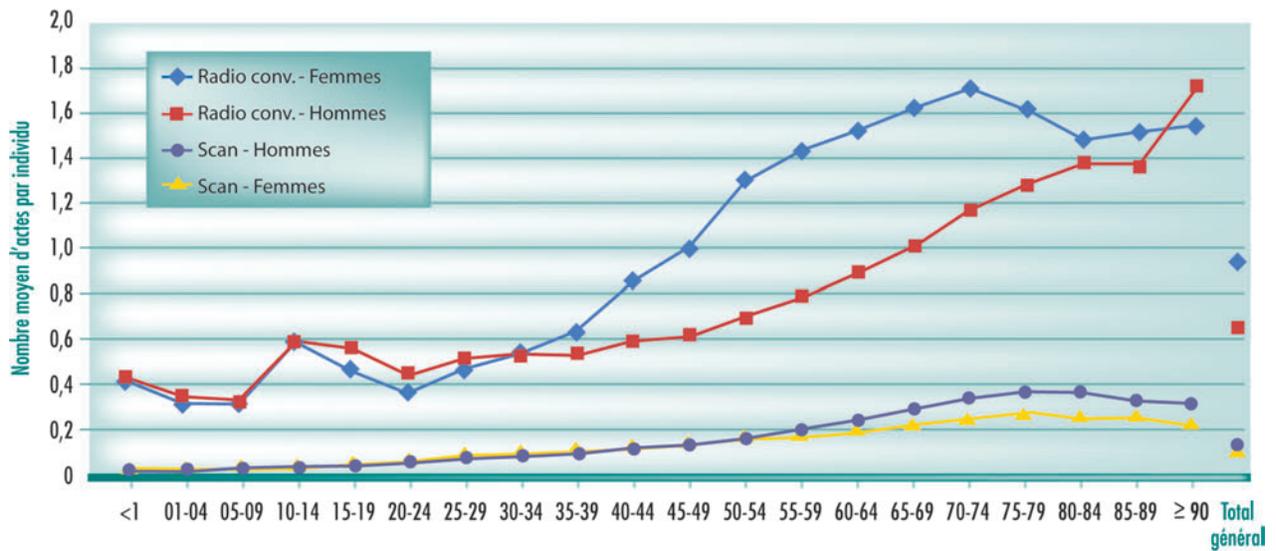


Diagramme 9 : dose efficace moyenne par habitant en 2007 liée aux actes radiologiques (source IRSN/InVS)

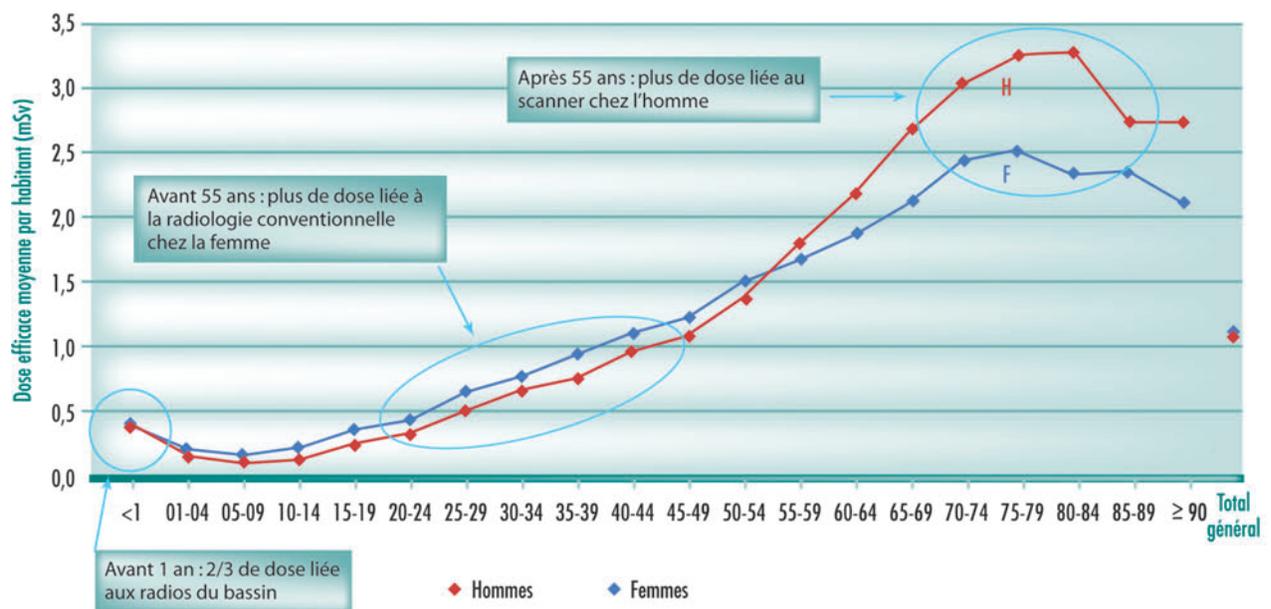
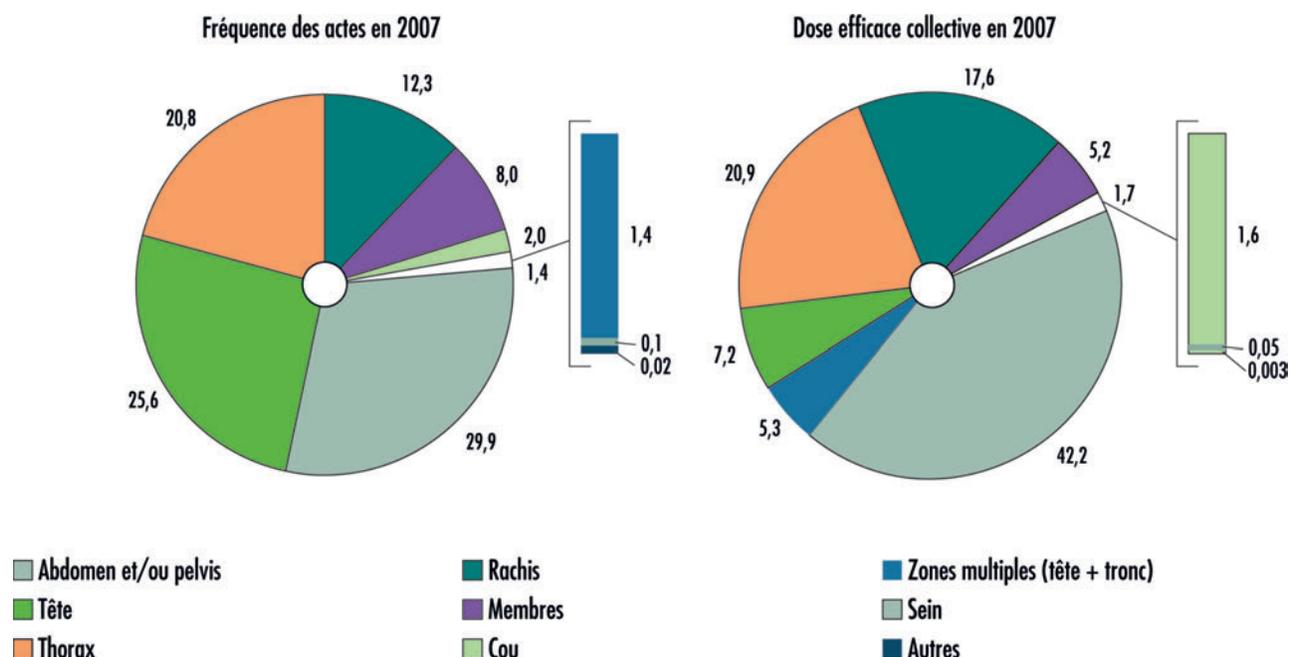


Diagramme 10 : répartition de la fréquence des actes et de la dose efficace collective par zone anatomique explorée, en scanographie, France entière – en pourcentage



- chez l'adolescent, on observe une augmentation du nombre d'actes et de la dose efficace individuelle moyenne liée à un surcroît de radiographies des membres (environ 0,3 acte par an et par enfant) et de radiographies dentaires exo-buccales, telles que les examens panoramiques dentaires (environ 0,1 acte par an et par enfant).

Chez l'adulte, le nombre d'actes et la dose efficace individuelle moyenne varient avec le sexe et l'âge. Ainsi :

- chez la femme, la dose efficace individuelle moyenne varie de 0,4 mSv par an entre 20 et 24 ans à 2,5 mSv par an entre 70 et 90 ans, les actes les plus fréquents étant la mammographie (0,4 acte par an et par femme entre 50 et 70 ans), les radiographies des membres et du thorax ;
- chez l'homme, la dose individuelle varie de 0,4 mSv par an entre 20 et 24 ans à 3 mSv par an entre 70 et 90 ans, l'acte le plus fréquent étant la radiographie du thorax, dont la fréquence augmente de façon régulière avec l'âge, de 0,1 à 0,7 acte par an et par homme de 20 à 80 ans.

Chez la femme comme chez l'homme, les scanographies contribuent plus à la dose efficace individuelle moyenne que les actes radiologiques. Les actes scanographiques délivrant le plus de dose sont les scanners abdomino-pelviens et thoraciques. À titre d'exemple, à 50 ans, les doses efficaces individuelles attribuables en moyenne aux examens radiologiques et scanographiques sont respectivement égales à 0,5 et 1 mSv par an chez la femme et 0,3 et 1 mSv par an chez l'homme.

Les expositions médicales aux rayonnements ionisants (scanographie, PET, radiologie interventionnelle) représentent la part la plus importante des expositions artificielles dans les pays développés. Ces pratiques sont en constante augmentation

et inévitables sauf lorsque des techniques alternatives peuvent être utilisées.

Une attention particulière doit être exercée pour contrôler et réduire les doses liées à l'imagerie médicale car la multiplication des examens les plus irradiants, pour une même personne, pourrait conduire à atteindre la valeur de 100 mSv, au-dessus de laquelle les études épidémiologiques ont montré que la probabilité de développer un cancer radio-induit devient significative.

3|5 La protection des espèces non-humaines

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 ainsi 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 doit toutefois pouvoir être garantie indépendamment des effets sur l'homme (voir CIPR 103). L'ASN est favorable à ce que l'impact des rayonnements ionisants sur les espèces non-humaines soit mieux pris en compte dans la réglementation et dans les autorisations des activités nucléaires. Toutefois les connaissances scientifiques sur les effets des rayonnements ionisants sur les espèces non-humaines sont limitées et l'ASN considère que des recherches doivent encore être menées avant de pouvoir être en mesure de proposer des dispositions spécifiques pour leur protection.

4 PERSPECTIVES

L'ASN, chargée d'organiser la veille permanente en radioprotection, reste particulièrement attentive au bon fonctionnement du système de surveillance des expositions mis en place par l'IRSN (SISERI) dans la mesure où les statistiques fournies constituent des indicateurs nationaux de premier ordre sur l'évolution de l'exposition des travailleurs et l'évaluation de l'efficacité des mesures prises par les exploitants pour l'application du principe d'optimisation. Comme les années précédentes, le bilan des doses reçues par les travailleurs en 2009, publié par l'IRSN, confirme la stabilisation à un niveau bas du nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle a dépassé 20 mSv, ainsi que la stabilisation à un niveau bas de la dose collective après une diminution initiée à partir de 1996.

L'exposition de la population française au radon demeure encore insuffisamment documentée puisque les estimations réalisées par l'IRSN en 1997 (activité moyenne par habitant et par département) n'ont jamais été réactualisées et qu'elles ne prennent pas en compte les mesures réalisées depuis 1999 dans les lieux ouverts au public. Le second plan national d'actions sur les risques liés au radon élaboré en 2010 prévoit la création d'une base de données regroupant toutes les données disponibles sur l'exposition au radon du public et des travailleurs, ce qui devrait constituer pour l'ASN une étape nécessaire pour mieux appréhender le risque.

L'ASN souligne également l'intérêt des travaux réalisés par l'observatoire national de l'exposition des patients piloté par

l'InVS et l'IRSN qui confirment, comme dans les autres pays développés, l'augmentation en France des doses délivrées aux patients dans le cadre des examens diagnostiques. Sur la base de ce constat, l'ASN a transmis fin 2010 au ministre chargé de la santé des propositions d'actions destinées à maîtriser l'augmentation des expositions, en s'appuyant sur une mise en œuvre effective des principes de justification et d'optimisation.

La conférence internationale de Versailles sur la radiothérapie, organisée en décembre 2009 par l'ASN, avait souligné la nécessité d'intensifier les efforts, tant au niveau local qu'au niveau international, dans le domaine de l'enregistrement et de l'analyse des effets indésirables et des complications des traitements ainsi que de développer des systèmes de déclaration des événements significatifs dans un but d'analyse et de retour d'expérience. Les conclusions de cette conférence ont fait l'objet d'un examen attentif en concertation avec tous les acteurs concernés afin d'identifier les actions à mettre en place pour compléter le plan national pour la radiothérapie piloté par l'INCa. Ce sujet sera examiné par le comité de suivi du plan national en 2011. La question de l'hypersensibilité aux rayonnements ionisants méritera une attention particulière en termes de recherche appliquée, tant au niveau national qu'international, afin de pouvoir disposer rapidement d'un test de radiosensibilité pour les patients, en particulier avant une radiothérapie.