

ENTREE INTERDITE

RADIOGRAPHIE
EN COURS



RADIO

DANGER

Chapitre 1

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

1	ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LES DANGERS ET LES RISQUES LIÉS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS	49
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	Radiosensibilité	
1 3 2	Effets des faibles doses	
1 3 3	Signature radiologique des cancers	
2	LES ACTIVITÉS NUCLÉAIRES	53
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 substances radioactives	
2 3	Les activités nucléaires de proximité	
2 4	La gestion des déchets radioactifs	
2 5	La gestion des sites contaminés	
2 6	Les activités industrielles générant un renforcement des rayonnements ionisants d'origine naturelle	
3	LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS	55
3 1	Les expositions de la population aux rayonnements d'origine naturelle	
3 1 1	Les rayonnements d'origine naturelle d'origine terrestre (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 (animales et végétales)	
4	PERSPECTIVES	64

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

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 substances radioactives, ainsi que dans toutes les installations médicales, vétérinaires, industrielles et de recherche où sont utilisés les rayonnements ionisants.

Les différents principes auxquels doivent répondre les activités nucléaires, 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 tels 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 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, 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 (1895). Ils dépendent du type de tissus exposés 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 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 une exposition aux rayonnements ionisants et la survenue d'un cancer 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 certains types de leucémie, des cancers broncho-pulmonaires (par inhalation de radon) et des 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 morbidité¹ 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 iodes 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 conditionnée au dépassement d'un seuil de dose, seule une probabilité d'apparition peut être énoncée pour un individu donné. 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 liés à une exposition aux rayonnements ionisants, aussi appelés cancers radio-induits.

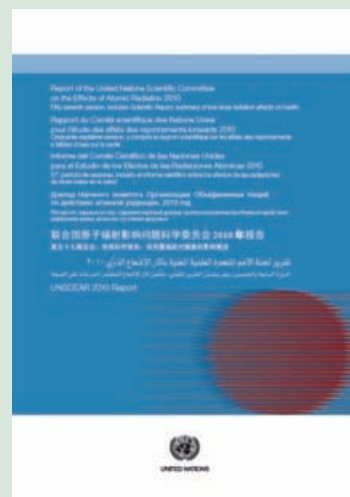
1. Nombre de personnes souffrant d'une maladie donnée pendant un temps donné, en général une année, dans une population.

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 étudie et évalue, à l'échelle mondiale et régionale, les expositions aux rayonnements et leurs effets sur la santé des groupes exposés. Le comité étudie également les progrès réalisés dans la compréhension des mécanismes biologiques par lesquels les rayonnements influent sur la santé ou l'environnement.

Dernières publications :

- Résumé des effets des rayonnements ionisants à faibles doses sur la santé (rapport 2010)
- Sources et effets des rayonnements ionisants (rapport 2008) :
- Volume 1 – annexe A (Exposition aux rayonnements ionisants d'origine médicale), annexe B (Exposition du public et des travailleurs à différentes sources de rayonnements).
- Volume 2 – annexe C (Exposition aux rayonnements dans un contexte accidentel), annexe D (Effets sur la santé dus aux rayonnements consécutifs à l'accident de Tchernobyl) et annexe E (Effets des rayonnements ionisants sur les espèces non humaines).



Rapport UNSCEAR 2010

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 toutefois de mettre en évidence une possible relation entre ces cancers et une exposition aux rayonnements ionisants, étant entendu que d'autres facteurs environnementaux peuvent être suspectés.

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 que l'existence d'une telle relation causale présente une très forte probabilité. On retiendra cependant la difficulté de mener ces enquêtes ou de 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

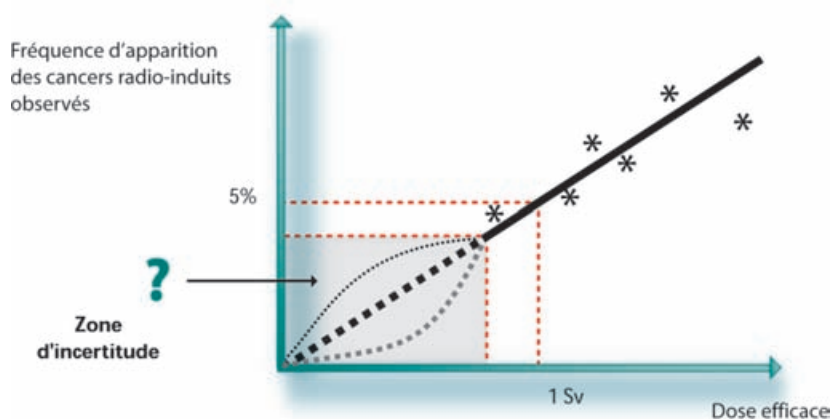
rayonnements ionisants que pour des doses de rayonnements relativement élevées, avec des débits de dose élevés (exemple : suivi des populations exposées lors des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki).

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, l'hypothèse prudente d'une relation linéaire sans seuil entre l'exposition et le nombre de décès par cancer (voir diagramme 1) a été adoptée à l'échelle internationale. Avec cette hypothèse, il est considéré qu'il n'existe pas de seuil de dose en-dessous duquel on pourrait affirmer qu'il n'y a pas d'effet. La légitimité de ces estimations et de cette hypothèse reste cependant controversée au plan 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.

L'évaluation du risque de cancer du poumon dû au radon, gaz radioactif d'origine naturelle (descendant de l'uranium et du thorium) susceptible de s'accumuler dans les bâtiments, 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

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



à 230 Bq/m³ serait, pour le public, du même ordre que celui lié au tabagisme passif (Académie des sciences des États-Unis, 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 Radiosensibilité

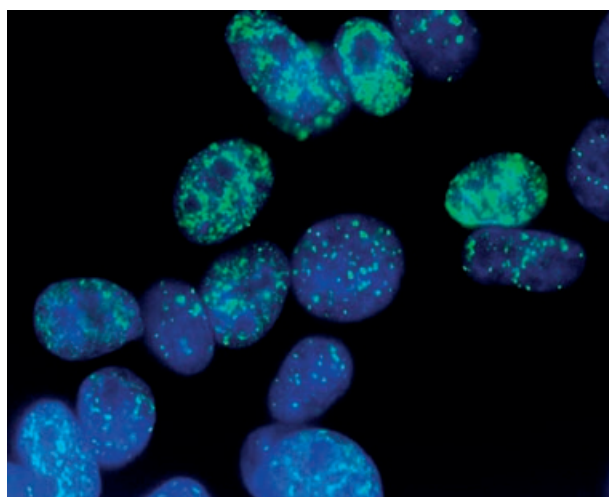
Les effets des rayonnements ionisants sur la santé des personnes varient d'un individu à l'autre. On sait par exemple, depuis que cela a été énoncé pour la première fois par Bergonié et Tribondeau en 1906, que la même dose n'a pas le même effet selon qu'elle est reçue par un enfant en période de croissance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

Aux faibles doses, il existe à la fois une radiosensibilité cellulaire et une radiosensibilité individuelle qui pourrait concerner environ 5 à 10 % de la population. Les méthodes récentes d'immunofluorescence de cibles moléculaires de la signalisation et de la réparation des lésions de l'ADN permettent de documenter les effets des rayonnements ionisants aux faibles doses, en abaissant d'un facteur 100 les seuils de détection. Les effets d'une simple radiographie deviennent visibles et mesurables. Les recherches effectuées avec ces nouvelles méthodes d'investigation apportent des résultats qui doivent encore être confirmés avant d'être pris en compte.

Dès lors, des questions délicates, dont certaines dépassent le cadre de la radioprotection, peuvent se poser :

- dès lors que des tests de mise en évidence de l'hyper-radiosensibilité individuelle sont rendus disponibles, le dépistage avant toute radiothérapie ou des examens répétés de scanographie doit-il être recommandé ?
- doit-on rechercher l'hypersensibilité éventuelle d'un travailleur susceptible d'être exposé aux rayonnements ionisants ?



Visualisation des cassures de l'ADN sur des cellules de glioblastome F98 traitées au Cis-platine et bismuth puis irradiées par rayonnement synchrotron

– la réglementation générale devra-t-elle prévoir une protection particulière pour les personnes concernées par une hypersensibilité aux rayonnements ionisants ?

Ces interrogations soulèvent notamment des questions d'éthique en raison de l'utilisation qui pourrait être faite des résultats de tests de radiosensibilité individuelle (discrimination au niveau de l'emploi par exemple).

Quoi qu'il en soit, il convient de ne pas exposer inutilement, c'est-à-dire sans justification, des personnes aux rayonnements ionisants, les enfants devant faire l'objet d'une attention particulière lors d'expositions aux rayonnements ionisants à des fins médicales.

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, des 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 dues à l'irradiation externe (exposition externe) à forte dose et fort débit de dose de rayonnements ionisants. 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 dues à la contamination interne (exposition interne) à plus faible dose et plus faible débit de dose de rayonnements ionisants, 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 gène d'un chromosome restera invisible 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.

Protection de l'environnement – La radioprotection a pour but d'empêcher ou de réduire les effets nocifs des rayonnements



CIPR 103

ionisants sur les personnes, directement ou indirectement, y compris par l'effet des atteintes portées 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 question de la manière pratique de traiter la protection de la nature au nom de l'intérêt propre des espèces animales et végétales reste posée (voir point 3 | 5), la protection des espèces non-humaines faisant désormais partie des recommandations de la CIPR (CIPR 103).

1 | 3 | 3 Signature radiologique des cancers

Il est admis qu'il n'est 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, il y a la création d'une cellule 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...) en des points névralgiques pour franchir ces étapes. Tous les agents capables de léser l'ADN cellulaire (tabac, alcool, produits chimiques variés, rayonnements ionisants, température élevée, autres facteurs d'environnement notamment nutritionnels, radicaux libres du métabolisme cellulaire normal...) contribuent au vieillissement cellulaire et *in fine* à la carcinogenèse.

Aussi, dans une approche multirisque de la carcinogenèse, peut-on alors continuer à parler de cancers radio-induits ? Oui, compte-tenu des nombreuses données épidémiologiques mais l'approche est toutefois certainement plus complexe, un cancer résultant certainement et dans certains cas d'une accumulation de lésions provenant de facteurs de risques différents. 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 ou non d'une tumeur, serait d'un apport considérable dans l'évaluation des risques liés aux expositions aux rayonnements ionisants (voir encadré).

Le caractère multirisque de la carcinogenèse plaide pour une approche de précaution vis-à-vis de tous les facteurs de risques, puisque chacun d'eux est susceptible de contribuer au vieillissement de l'ADN. C'est particulièrement important chez les personnes présentant une hyper-radiosensibilité individuelle et pour les organes plus sensibles comme le sein et ce d'autant plus que ces personnes sont jeunes. Les principes de justification et d'optimisation trouvent là toute leur place.

Analyse du transcriptome de l'ADN

En utilisant des nouveaux outils de la génomique et en particulier l'analyse du transcriptome de l'ADN cellulaire, des chercheurs ont obtenu une empreinte moléculaire distinguant les tumeurs de la thyroïde induites secondairement à une radiothérapie (pour un premier cancer pendant l'enfance) des tumeurs sporadiques et une empreinte moléculaire permettant de différencier des tumeurs de la thyroïde post-Tchernobyl des tumeurs sporadiques. Ces empreintes ont été proposées en identifiant « en aveugle » l'étiologie de séries indépendantes de tumeurs. Cette même stratégie a permis de suggérer des empreintes dans des séries de sarcomes et de cancers du sein induits après radiothérapie. Ces résultats sont prometteurs et doivent être confirmés en analysant de nouvelles séries de tumeurs, et validées avec différents modèles statistiques et méthodologiques, en notant qu'ils correspondent à des tumeurs observées après des expositions à de fortes doses de rayonnements ionisants. Qu'en est-il aux plus faibles doses ?

Bibliographie

1. Ory, C., et al., Gene expression signature discriminates sporadic from post-radiotherapy-induced thyroid tumors. *Endocrine-related cancer*, 2011. 18(1): p. 193-206.
2. Ugolin, N., et al., Strategy to find molecular signatures in a small series of rare cancers: validation for radiation-induced breast and thyroid tumors. *Plos One*, 2011. 6(8): p. e23581.
3. Hadj-Hamou, N.S., et al., A transcriptome signature distinguished sporadic from postradiotherapy radiation-induced sarcomas. *Carcinogenesis*, 2011. 32(6): p. 929-34
4. Schlumberger, M., et al., [Thyroid cancer following exposure to ionising radiation]. *Cancer radiothérapie : journal de la Société française de radiothérapie oncologique*, 2011. 15(5): p. 394-9

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 de substances radioactives et fissiles à usage civil ;
- 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|1 Les installations nucléaires de base

2|1|1 Définition

Les installations nucléaires appelées installations nucléaires de base (INB) sont réglementairement classées dans différentes catégories correspondant à des procédures plus ou



Inspection de chantier de l'ASN sur le site de la centrale nucléaire de Fessenheim – Novembre 2012

moins contraignantes selon l'importance des risques potentiels (voir chapitre 3, point 3). Les principales INB sont :

- les réacteurs nucléaires ;
- certains accélérateurs de particules ;
- les usines de préparation, d'enrichissement ou de transformation de substances radioactives, notamment les usines de fabrication de combustibles nucléaires, de traitement de combustibles irradiés et les installations de traitement et d'entreposage des déchets radioactifs qu'elles produisent ;
- les installations destinées au traitement, au stockage, au dépôt ou à l'utilisation de substances radioactives, y compris les déchets, lorsque les quantités mises en œuvre sont supérieures à des seuils fixés par voie réglementaire.

La liste des INB au 31 décembre 2012 figure à l'annexe A.

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

L'option fondamentale adoptée internationalement 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 règles générales applicables à l'ensemble des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants (organisation du travail, prévention des accidents, suivi médical des travailleurs des entreprises extérieures...) (voir chapitre 3).

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. Plus particulièrement, les rejets d'effluents liquides et gazeux, radioactifs ou non radioactifs, sont strictement limités (voir chapitre 4).

2|2 Le transport des substances radioactives

Lors du transport de substances radioactives, les risques essentiels sont ceux d'exposition interne ou externe, de criticité ou de nature chimique. La sûreté du transport de substances 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.

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), 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 prises en compte (voir chapitre 3).

2|4 La gestion des déchets radioactifs

Comme toutes les activités industrielles, les activités nucléaires peuvent générer des déchets. 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 appréhendé principalement au travers de deux paramètres : l'activité, qui contribue à la toxicité 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 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).

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 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 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|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 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

Du fait de la difficulté d'attribuer un cancer au seul facteur de risque rayonnements ionisants, la « 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 (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.

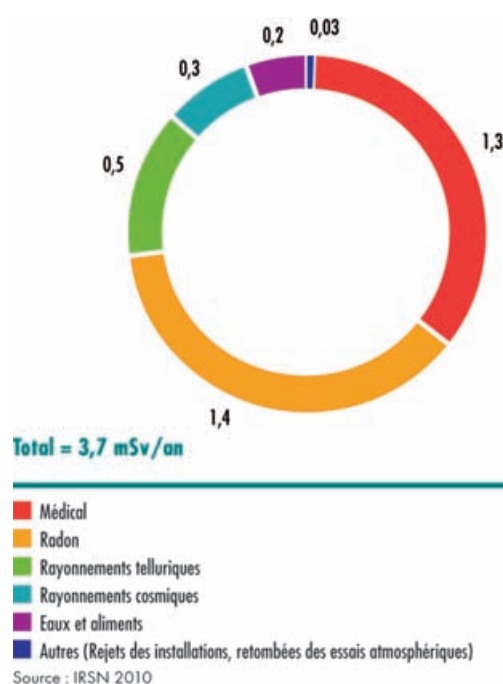
La totalité de la population française est potentiellement exposée à des rayonnements ionisants d'origine naturelle ou ayant pour origine des activités humaines, mais de façon inégale sur le territoire. L'exposition de la population française est estimée à 3,7 mSv par personne et par an, mais cette exposition présente une grande variabilité individuelle, notamment selon la localisation du lieu d'habitation et le nombre d'exams radiologiques reçus (source : IRSN 2010) ; la dose efficace individuelle annuelle moyenne peut ainsi 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.

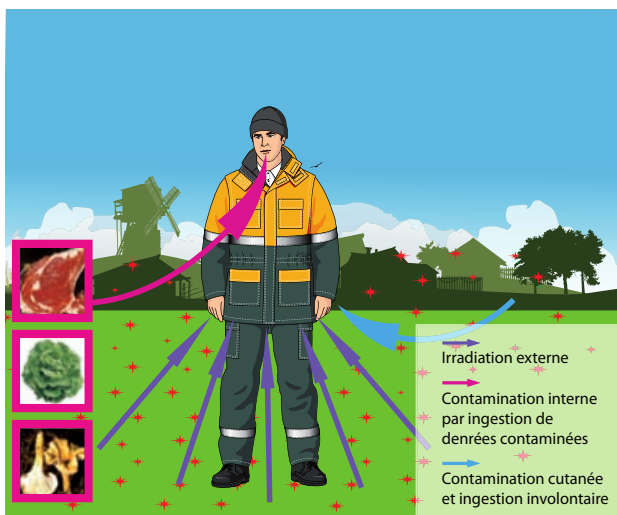
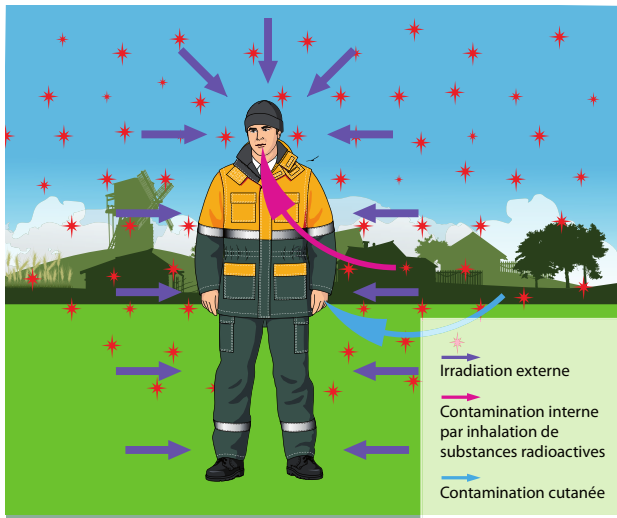
3|1 Les expositions de la population aux rayonnements d'origine naturelle

Les expositions de la population aux rayonnements ionisants d'origine naturelle résultent depuis toujours de la présence de

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



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 65 % de l'exposition totale annuelle.



Les voies d'exposition aux rayonnements ionisants

3|1|1 Les rayonnements d'origine naturelle d'origine terrestre (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.

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.

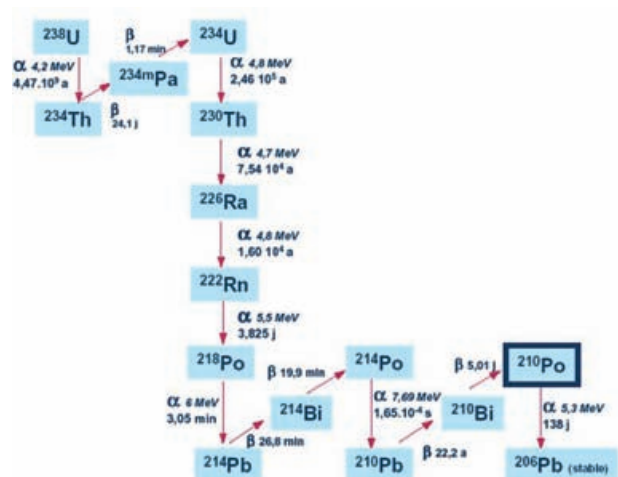
Les valeurs de débit de dose à l'intérieur des habitations sont généralement plus élevées du fait de la contribution des matériaux de construction (environ 20 % en plus, en moyenne).

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 Agences régionales de santé entre 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 totale indicative de 0,1 mSv/an fixée par la réglementation.



Chaîne de l'uranium 238

3|1|2 L'exposition au radon

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

Carte des 31 départements prioritaires pour la surveillance du radon

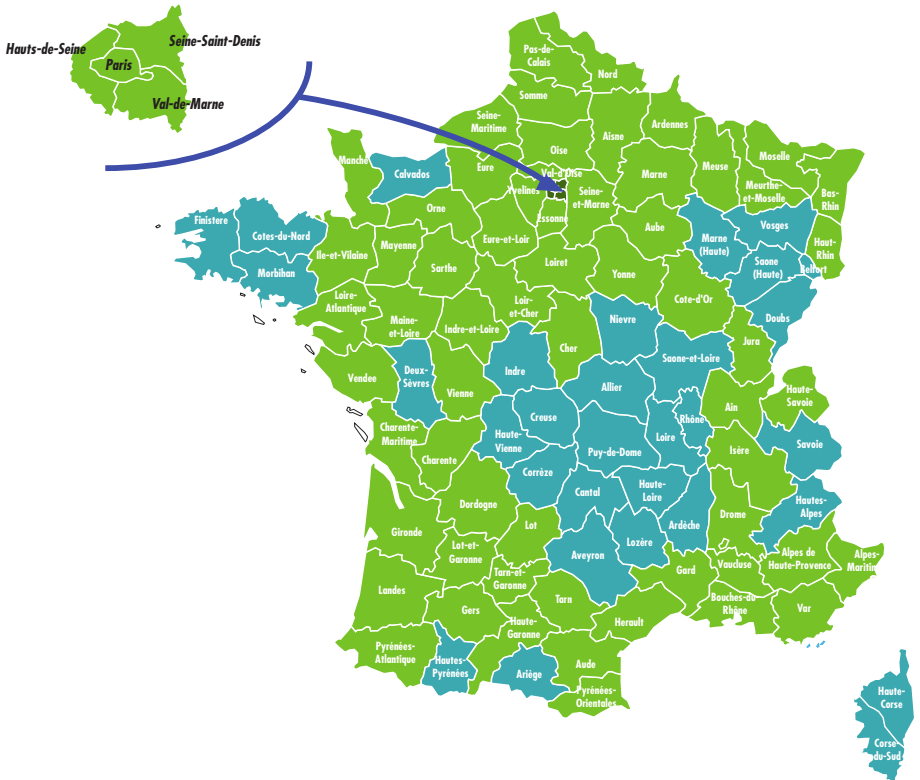
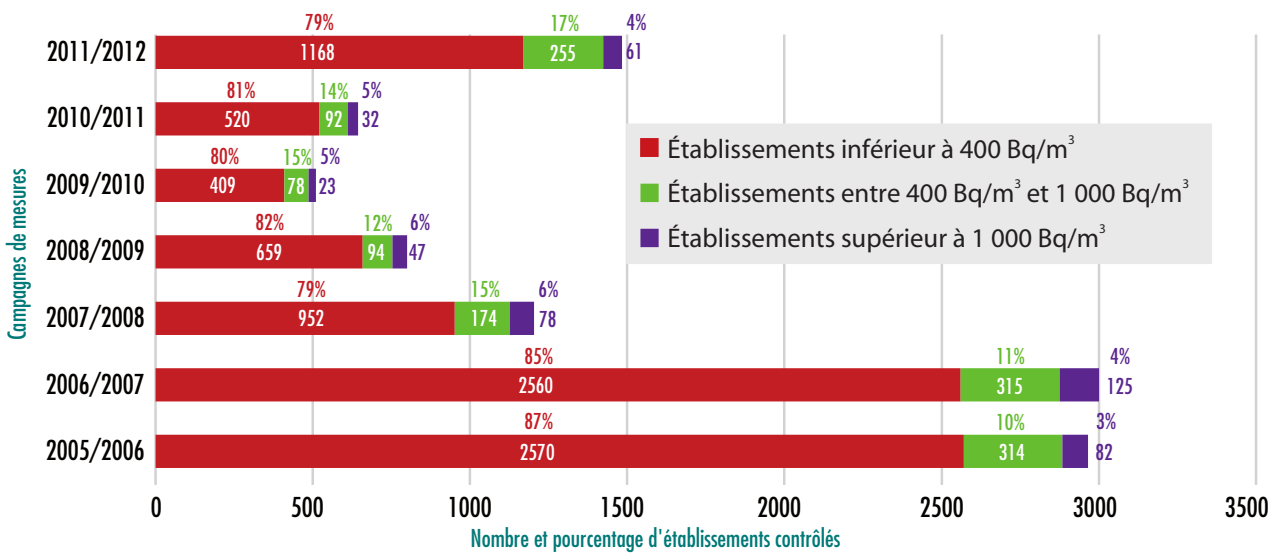


Diagramme 3 : bilan des campagnes de mesures du radon réalisées depuis 2005



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

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.

Depuis 1999, le fait du risque de cancer du poumon attribuable aux expositions prolongées au radon, dans les lieux ouverts au public, et notamment dans les établissements d'enseignement et dans les établissements sanitaires et sociaux, des mesures obligatoires de radon doivent être réalisées périodiquement. Depuis août 2008, cette surveillance obligatoire a été étendue aux lieux de travail situés dans les zones géographiques prioritaires. Elle devrait être étendue aux bâtiments d'habitation à partir de 2014.

Le bilan des campagnes réalisées depuis 2005 par les organismes agréés par l'ASN est présenté dans le diagramme 3. Les pourcentages de résultats de mesures supérieurs aux niveaux d'action (400 et 1000 Bq/m³) restent comparables d'une année sur l'autre. Depuis 2009, un nouveau cycle de dépistage (10 ans) a été entamé.

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.

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|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 est en place depuis plusieurs décennies. Fondé principalement 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 : ces limites visent, d'une part, 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, et,

Bilan de la surveillance dosimétrique de l'exposition externe des travailleurs aux rayonnements ionisants en 2011 (source : IRSN septembre 2012)

Effectif total surveillé : 343 988 travailleurs

Effectif surveillé pour lequel la dose est restée inférieure au seuil d'enregistrement : 270 720, soit environ 79 %

Effectif surveillé pour lequel la dose est restée comprise entre le seuil d'enregistrement et 1 mSv : 59 233, soit environ 17%

Effectif surveillé pour lequel la dose est restée comprise entre 1 mSv et 20 mSv : 14 023 travailleurs soit environ 4,1%

Effectif surveillé pour lequel la dose efficace annuelle a dépassé 20 mSv : 12 dont 5 au-dessus de 50 mSv

Dose collective (somme des doses individuelles) : 64,24 homme.Sv

Dose individuelle annuelle moyenne sur l'effectif ayant enregistré une dose supérieure au seuil d'enregistrement : 0,88 mSv

Bilan de la surveillance de l'exposition interne en 2011

Nombre d'examens de routine réalisés : 341 377 examens (dont moins de 1% considérés positifs)

Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 364 travailleurs

Nombre d'examens de surveillance spéciale ou de contrôle réalisés : 15 782 (dont 3 % est supérieur au seuil d'enregistrement)

Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée supérieure à 1 mSv : 9 travailleurs

Bilan de la surveillance de l'exposition aux rayonnements cosmiques en 2011 (aviation civile)

Dose collective pour 21 195 personnels navigants : 41,4 homme.Sv

Dose individuelle annuelle moyenne : 2,0 mSv

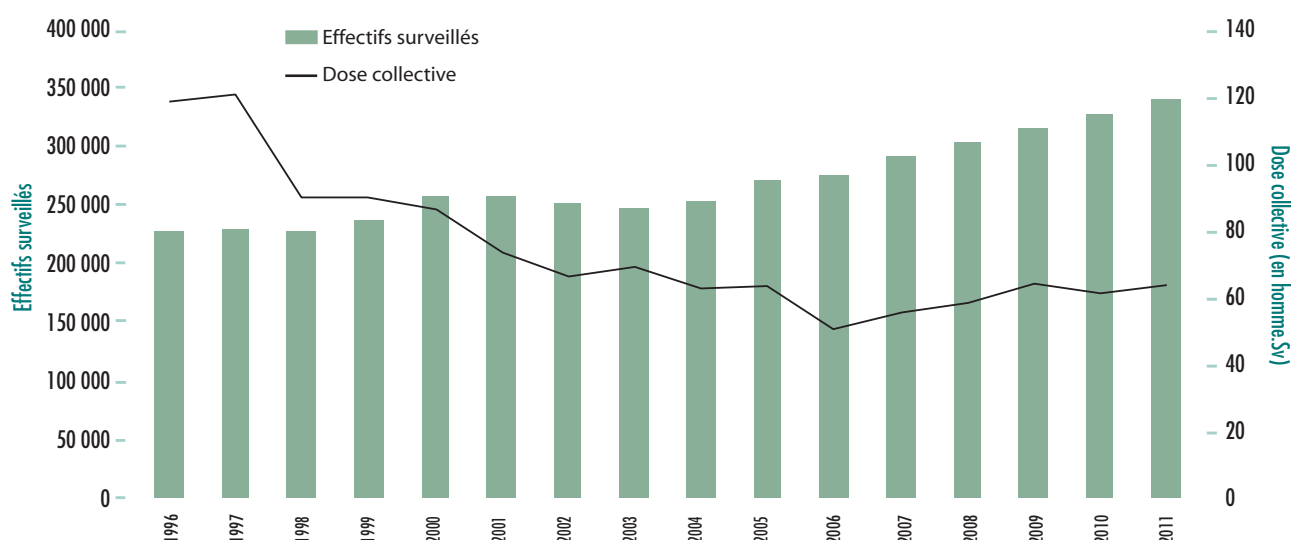
Tableau 1 : dosimétrie des travailleurs dans le domaine nucléaire (année 2011 – source IRSN)

	Nombre de personnes surveillées	Dose collective (homme.Sv)	Dose > 20 mSv
Réacteurs et production d'énergie (EDF)	22 044	6,52	0
Cycle du combustible ; démantèlement	9 284	2,32	0
Transport	1 002	0,1	0
Logistique et maintenance (prestataires)	8 713	6,97	1
Autres	21 830	8,62	0

Tableau 2 : dosimétrie des travailleurs dans les activités nucléaires de proximité (année 2011 – source IRSN)

	Nombre de personnes surveillées	Dose collective (homme.Sv)	Dose > 20 mSv
Médecine	177 792	16,80	6
Dentaire	44 476	1,88	1
Vétérinaire	18 065	0,47	0
Industrie	32 190	16,87	2
Recherche	14 601	0,67	1
Divers	18 585	1,36	1

Diagramme 4 : évolution des effectifs surveillés et de la dose collective, de 1996 à 2011 (source IRSN)



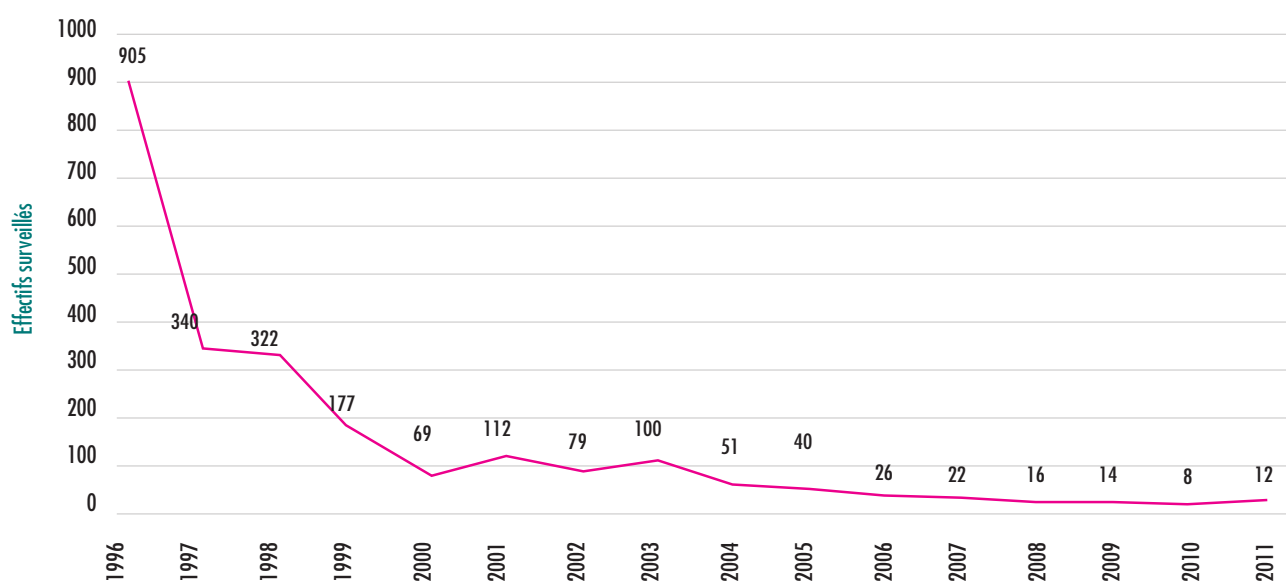
d'autre part, l'exposition externe de certaines parties du corps telles que les mains et le cristallin (voir chapitre 3).

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'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et font l'objet d'une publication annuelle.

Le bilan de la surveillance dosimétrique de l'exposition externe des travailleurs en 2011 montre globalement l'efficacité du système de prévention mis en place dans les établissements

Diagramme 5 : évolution du nombre de travailleurs surveillés dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2011



À NOTER EN 2012

Évolutions de SISERI

Compte tenu des perspectives d'évolution du contexte réglementaire communautaire et national, ainsi que du retour d'expérience de plus de six années de fonctionnement, la Direction générale du travail (DGT) et l'ASN ont engagé une réflexion visant à identifier les évolutions souhaitables de SISERI pour mieux prendre en compte les besoins des parties prenantes ainsi que les exigences d'harmonisation au niveau européen.

A partir d'un rapport préliminaire remis par l'IRSN et de l'avis rendu par le Groupe permanent d'experts en radioprotection (GPRAD) et le Groupe permanent d'experts pour le domaine des expositions médicales (GPMED), l'ASN et la DGT ont pris position, en novembre 2012, sur les évolutions souhaitables de SISERI, en particulier sur la gestion des accès au système d'information, sur la connaissance de l'outil par les utilisateurs et sur les questions liées à la transmission, à la fiabilité et à l'exhaustivité des données centralisées.

Des réflexions approfondies doivent être menées en 2013 dans le cadre d'un groupe de travail pluraliste. Elles porteront en particulier sur les perspectives d'évolution de la vocation du système SISERI pour permettre un accès direct des travailleurs à leurs propres données dosimétriques et offrir aux inspecteurs du travail et aux inspecteurs de la radioprotection un outil d'orientation et d'optimisation des contrôles effectués dans le cadre de leurs missions.



Mesure d'ambiance lors d'une inspection de mise en service d'une installation de radiothérapie à l'Institut hospitalier franco-britannique de Levallois-Perret – Septembre 2012

où sont utilisées les sources de rayonnements ionisants puisque, pour près de 96% 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 tableaux 1 et 2 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 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 32 % de la dose collective ; en revanche, le secteur des activités médicales comptabilise 8 dépassements de la limite annuelle de 20 mSv (sur 12), dont 3 au-dessus de 50 mSv (sur 5).

Les dernières statistiques publiées par l'IRSN en juillet 2012 montrent une progression légère mais régulière des effectifs faisant l'objet d'une surveillance dosimétrique depuis 2005 (voir diagramme 4), le cap des 340 000 personnes est dépassé en 2011, cette évolution étant due pour une part importante à l'augmentation des effectifs surveillés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires. La dose collective, composée de la somme des doses individuelles, est en régression (de 46 %) depuis 1996 alors que les effectifs surveillés ont progressé d'environ 50 %.

Le nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle a dépassé 20 mSv est également en nette diminution (voir diagramme 5).

Concernant la dosimétrie des extrémités (bague et poignet), le nombre de travailleurs suivis est de 23 186 et la dose totale est de 143,2 Sv. Une dose annuelle aux extrémités supérieure à la limite réglementaire de 500 mSv a été enregistrée pour trois travailleurs dans le secteur de la radiologie interventionnelle.

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

L'exposition des travailleurs aux rayonnements naturels renforcés résulte de l'ingestion de poussières de matières riches en radionucléides (phosphates, minerais métallifères) ou 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 (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 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.

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 appelé 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 2011, 21 195 personnels navigants avaient leurs doses enregistrées dans SISERI. 19 % des doses individuelles annuelles sont inférieures à 1 mSv, et 81 % des doses sont comprises entre 1 mSv et 5 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 INB (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 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 microsieverts à quelques dizaines de microsieverts par an.

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 conduit à des doses 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



Prélèvement d'échantillons d'effluents radioactifs et chimiques lors d'une inspection de l'ASN sur le thème des rejets à la centrale nucléaire du Bugey – Mai 2012

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 en France métropolitaine 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). En ce qui concerne les retombées en France de l'accident de Fukushima (Japon), les résultats publiés en France par l'IRSN en 2011 ont montré la présence d'iodes radioactifs à des niveaux très faibles, sans impact sanitaire pour les populations ou l'environnement.

3|4 Les doses reçues par les patients

Les expositions médicales aux rayonnements ionisants (en particulier celles résultant des examens de scanographie, de tomographie par émission de positons (TEP) et de la radiologie interventionnelle) représentent la part la plus importante des expositions artificielles dans les pays développés. Elles sont en constante 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 150 %. En médecine nucléaire, environ 17 millions d'examens étaient réalisés chaque année dans les années 1970, avec un saut à 35 millions (+100 %) 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.

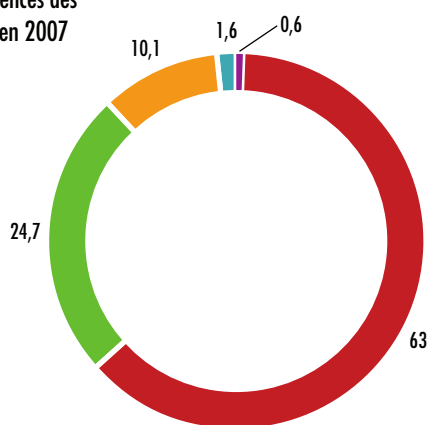
En France, la dose efficace moyenne par habitant du fait des examens radiologiques à visée diagnostique a été réévaluée : elle a augmenté entre 2002 et 2007 de 0,83 à 1,3 mSv par an et par habitant (la dernière mise à jour des données d'exposition, publiée en avril 2010 par l'IRSN et l'Institut de veille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

Tableau 3 : nombre moyen d'actes d'imagerie médicale et dose efficace moyenne en France en 2002 et 2007 (source IRSN)

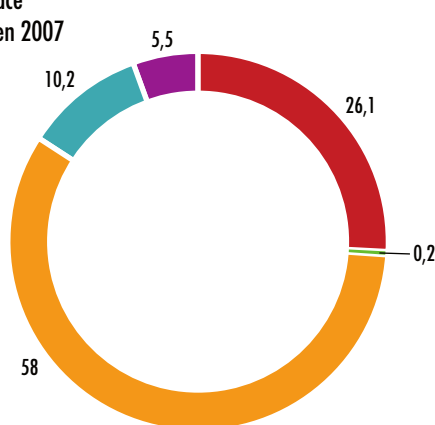
Année	Nombre moyen d'actes		Dose efficace moyenne par habitant et par an
	total	par habitant	
2002 • (61,4 millions d'habitants)	73,3 millions	1,2	0,83 mSv
2007 • (63,7 millions d'habitants)	74,6 millions	1,2	1,3 mSv

Diagramme 6 : répartition des actes et des doses associées par domaine

Fréquences des actes en 2007 (%)



Dose efficace collective en 2007 (%)



■ Radiologie conventionnelle (hors dentaire)

■ Radiologie dentaire

■ Médecine nucléaire

■ Radiologie interventionnelle diagnostique

Diagramme 7 : 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)

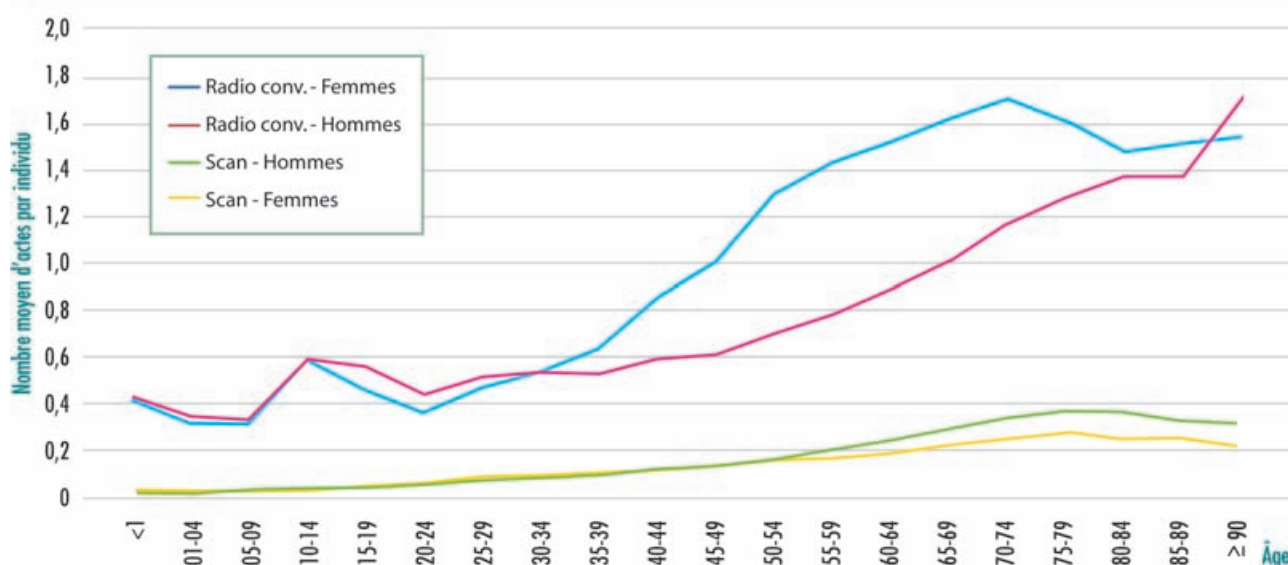
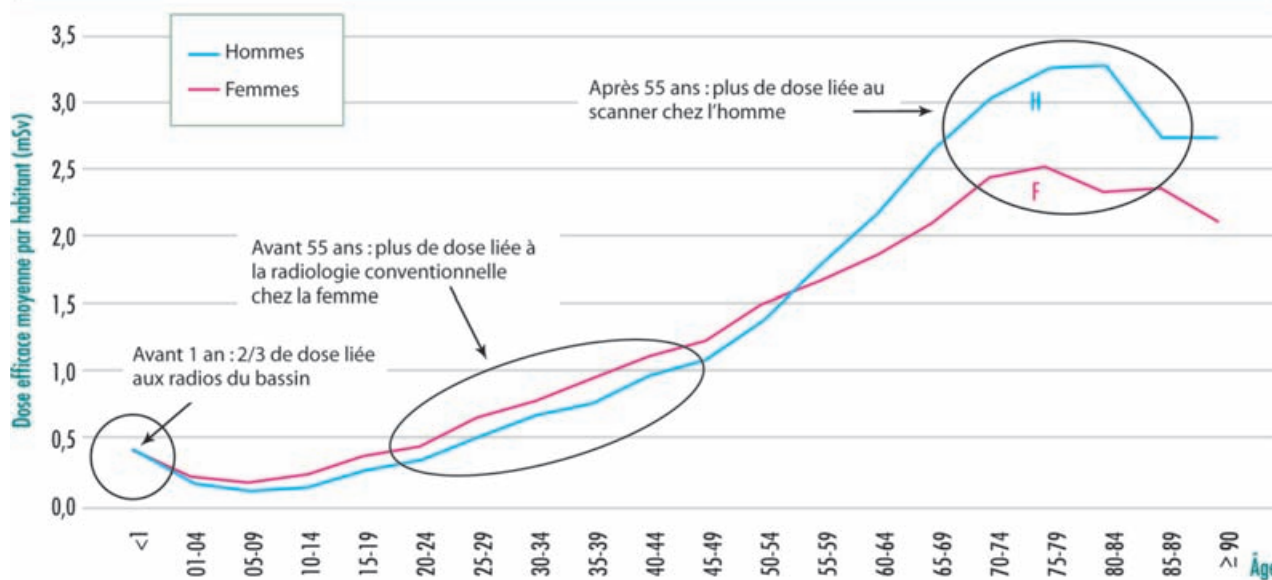


Diagramme 8 : dose efficace moyenne par habitant en 2007 liée aux actes radiologiques (source IRSN/InVS)



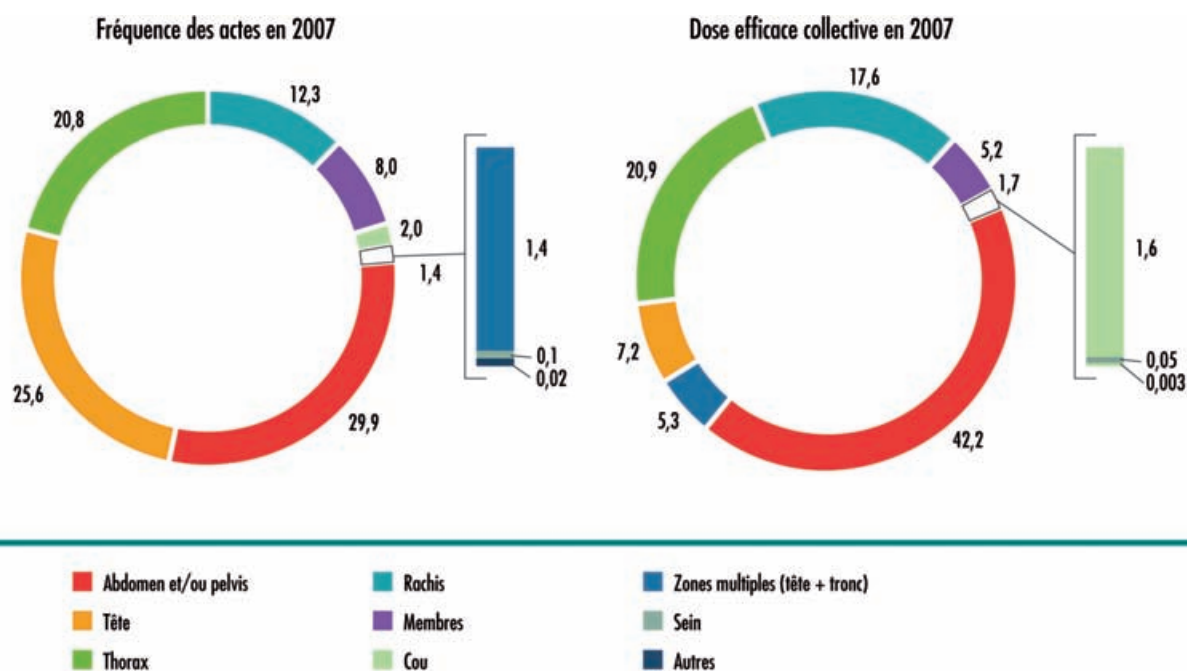
La radiologie conventionnelle regroupe le plus grand nombre d'examen (63 %) mais, en termes d'exposition, le scanner regroupe près de 58 % des doses délivrées aux patients (diagramme 8).

Les scanographies contribuent plus à la dose efficace individuelle moyenne que les actes de radiologie conventionnelle. Les actes de scanographie 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 de radiologie conventionnelle et de

scanographie 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.

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, car la multiplication des examens les plus irradiants, pour une même personne, pourrait conduire à atteindre la valeur de dose efficace de 100 mSv, au-dessus de laquelle les études épidémiologiques ont montré que la probabilité de développer un cancer radio-induit devient significative.

Diagramme 9 : répartition de la fréquence des actes et de la dose efficace collective par zone anatomique explorée, en scanographie, France entière – en %



3|5 La protection 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 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, tout en soulignant que la publication des méthodes d'évaluation est attendue pour une mise en place effective d'une réglementation nouvelle sur ce sujet.

4 PERSPECTIVES

Comme les années précédentes, le bilan des doses reçues par les travailleurs en 2011, publié par l'IRSN, confirme la stabilisation, autour d'une dizaine de cas, 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'ASN restera particulièrement attentive aux évolutions qui seront apportées à SISERI et participera activement, en 2013, aux réflexions approfondies qui seront menées sur les dispositions réglementaires encadrant la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, dans le cadre d'un groupe de travail pluraliste placé sous l'égide de la Direction générale du travail.

Le second plan national d'actions sur les risques liés au radon, publié en novembre 2011, met l'accent sur la nécessité de développer le dépistage des expositions au radon dans l'habitat. L'ASN apportera un appui au Gouvernement pour

permettre la mise en place effective d'un cadre réglementaire nouveau concernant le dépistage du radon dans l'habitat.

Sur la question de l'augmentation des doses délivrées aux patients lors des examens d'imagerie médicale, mise en évidence ces dernières années, l'ASN devra intensifier ses actions pour parvenir à une véritable mobilisation, à tous les niveaux, des autorités sanitaires et des professionnels de santé.

La question de l'hypersensibilité individuelle aux rayonnements ionisants mérite toujours une attention particulière en termes de recherche appliquée, aux niveaux national et international, afin de pouvoir disposer rapidement d'un test de radiosensibilité pour les patients, en particulier avant une radiothérapie. Dans le domaine des faibles doses, cette question doit également continuer à être explorée du fait notamment de l'utilisation à grande échelle des essais de dépistage du cancer du sein avec la mammographie.

