

Science et valeurs en radioprotection

par T. Lazo*

Le Comité de protection radiologique et de santé publique (CRPPH) de l'AEN étudie la participation des acteurs intéressés aux processus décisionnels et d'aide à la décision depuis plus de dix ans. Il en ressort de ces travaux une conclusion essentielle : alors que la grande majorité des décisions de radioprotection reposent sur des données scientifiques, la plupart des décisions concernant la santé et la sécurité du public ou la protection de l'environnement sont, quant à elles, le fruit de jugements de valeur plus généraux. Un corollaire de cette conclusion est que les décisions les plus durables sont, en général, celles qui reflètent clairement les valeurs sociales sur lesquelles elles sont fondées.

Alors que ces conclusions peuvent sembler relativement simples, on constate lorsque l'on cherche à les appliquer à des situations réelles qu'elles sont loin de l'être. Le CRPPH continue donc à poursuivre son étude de la prise de décisions en concentrant ses efforts sur des exemples concrets de la relation entre d'une part, les chercheurs et leurs études scientifiques qui peuvent souvent être incomplètes et comporter des incertitudes, et d'autre part les autorités de sûreté et leurs besoins. Il s'agit de mieux comprendre comment, face à divers niveaux d'incertitude scientifique, des jugements de valeur sont passés et formulés dans le cadre de décisions réglementaires.

La première étape de ces travaux a consisté à organiser, à Helsinki, en janvier 2008, le 1^{er} Atelier science et valeurs en radioprotection, sous le parrainage des autorités de sûreté finlandaises (STUK). Les principaux résultats de cet atelier,

qui sont présentés ici, ont servi à préparer un second atelier sur le même thème, qui se tiendra du 30 novembre au 2 décembre 2009, en région parisienne, en France.

Objectifs et démarche

Les décideurs et les praticiens de la radioprotection ainsi que les autres acteurs concernés ont sans cesse besoin de mieux comprendre l'évolution des interactions entre la science et les valeurs dans le cadre de l'élaboration des politiques de radioprotection et de leurs applications pratiques. Les principes actuels de radioprotection peuvent être remis en cause par des phénomènes récemment observés par les chercheurs, comme les effets « bystander », l'instabilité génomique et la réponse adaptative. Sur la base de ces nouvelles données, il est souvent suggéré de réviser les principes en vigueur ou de présenter une nouvelle conception de la radioprotection. Il est nécessaire, dans le même temps, que les radioprotectionnistes qui étudient ces nouveaux phénomènes comprennent mieux les processus décisionnels généraux en radioprotection



Groupe de participants au premier atelier tenu à Helsinki en Finlande.

* M. Ted Lazo (lazo@nea.fr) est administrateur principal dans la Division de la protection radiologique et de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN.

pour ainsi arriver à une meilleure interaction avec ces processus en intégrant les résultats de leurs recherches.

Pour analyser la prise de décisions et les interactions entre les scientifiques et les autorités de sûreté, il s'agissait dans le cadre du premier atelier de lancer un processus de réflexion et de dialogue entre la communauté scientifique, les décideurs et les autres acteurs concernés afin, à plus long terme, de :

- permettre aux communautés de chercheurs et de décideurs d'améliorer leur compréhension ;
- parvenir à une vision commune des nouveaux défis scientifiques et sociétaux auxquels est confrontée la radioprotection ;
- mettre en évidence les recherches nécessaires pour émettre des avis éclairés sur les nouvelles questions qui se posent ;
- mettre en évidence les éléments d'un cadre mieux adapté à l'intégration des innovations scientifiques et technologiques et des points de vue sociopolitiques en radioprotection ; et
- déterminer les prochaines étapes du processus les plus appropriées.

Pour atteindre ces divers objectifs, plusieurs exemples de nouveaux sujets de radioprotection ont été examinés au cours de l'atelier. Certains des principaux dossiers scientifiques mentionnés dans le rapport de l'AEN « *Scientific Issues and Emerging Challenges for Radiation Protection* » (OCDE/AEN, 2007) ont servi d'exemples dans l'atelier. Il s'agit notamment :

- des effets non ciblés ;
- de la sensibilité individuelle ; et
- des maladies cardiovasculaires.

La méthode dite « Et si... ? » a été adoptée dans le cadre des débats animés par un modérateur, en partant de l'hypothèse que la recherche permettrait d'aboutir à des conclusions scientifiques spécifiques (par exemple que la sensibilité individuelle peut être mesurée sans difficulté et que les risques individuels peuvent être beaucoup plus élevés chez des personnes sensibles). Les autorités nationales de radioprotection et les chercheurs ont alors examiné la probabilité de ces types de situations et leurs répercussions possibles sur la réglementation et les pratiques de radioprotection.

Effets non ciblés

Les effets non ciblés sont ceux qui interviennent dans des cellules qui n'ont pas été directement touchées par les rayonnements ionisants. En

particulier, les effets dits « bystander » se produisent dans les cellules qui n'ont pas été traversées par les rayonnements et sont induits par des signaux provenant des cellules irradiées. Un autre effet non ciblé important se produit dans la progénie des cellules irradiées où l'on observe un taux plus élevé d'altération génomique.

À l'heure actuelle, nos connaissances sont limitées sur ces deux aspects des effets non ciblés. Ainsi, dans le domaine des effets bystander, quels sont les messagers chimiques qui produisent des dommages dans les cellules non irradiées ? Pourquoi ces dommages n'interviennent-ils que dans certaines cellules à proximité des cellules irradiées ? En ce qui concerne l'instabilité génomique, pourquoi cette instabilité se manifeste-t-elle irrégulièrement dans la famille des cellules de la progénie ? Plus généralement, on ignore si ces effets sont associés à l'apparition ultérieure de maladies, comme le cancer, la leucémie ou les maladies cardiovasculaires et, de ce fait, on ne sait pas si ces effets peuvent influencer sur la forme de la courbe dose/réponse ou sur le modèle global des dommages radio-induits.

Pourquoi faut-il s'intéresser aux effets non ciblés ?

La nature précise des dommages radio-induits et les mécanismes qui produisent les effets nocifs (maladies) ne sont pas entièrement compris. Néanmoins, on suppose, à des fins de radioprotection, que le détriment est proportionnel à la dose. Si, toutefois, les effets dans les cellules qui se situent au-delà de celles qui sont directement touchées par les rayonnements ionisants influencent la genèse des maladies radio-induites, on peut alors supposer que le détriment n'est pas aussi directement proportionnel à la dose comme nous le pensons actuellement. Dans ce cas, les critères dosimétriques sur lesquels sont actuellement fondées les décisions de protection devraient être révisés.

Que savons-nous à l'heure actuelle des effets non ciblés ?

Le corpus des connaissances déjà important dans le domaine des effets non ciblés s'enrichit sans cesse grâce aux nombreuses recherches qui continuent d'être menées dans ce domaine. Des effets de voisinage ou « effets bystander » ont été induits dans des cellules non irradiées par des rayonnements ionisants, comme le montrent les expériences *in vivo* dans un modèle de cellules de la peau humaine, les expériences sur des souris et les expériences effectuées sur des échantillons de sang provenant d'hommes exposés à des rayonnements

ionisants. On pense que les effets bystander se manifestent par la communication intercellulaire via les jonctions lacunaires, et qu'ils sont observables à de faibles doses (de l'ordre de quelques mGy). On sait que l'instabilité génomique, un autre type d'effet non ciblé, est radio-induite. Dans ce cas, l'instabilité génomique apparaît sur des cellules de la progénie qui n'ont pas été irradiées, parfois plusieurs générations après l'exposition des cellules initialement irradiées.

Quelles questions scientifiques se posent ?

Un grand nombre de questions scientifiques n'ont pas encore été résolues en ce qui concerne les effets non ciblés, et des recherches considérables sont actuellement consacrées à ce sujet, notamment à l'étude de la nature des effets bystander émetteurs de signaux ainsi qu'à l'interaction de ce signal avec les cellules bystander. D'autres questions plus générales sont également étudiées. Par exemple, les effets bystander semblent liés à la dose seulement jusqu'à un certain niveau qui est faible et semble essentiellement se manifester à ces faibles doses, les doses plus élevées ne produisant pas d'autres effets. Dans ce contexte, nos connaissances ne nous permettent pas de dire si les cellules ciblées et non ciblées réagissent différemment.

Quels sont les aspects réglementaires ?

Parallèlement à ces questions scientifiques, les effets non ciblés soulèvent également une série de questions réglementaires importantes. D'une manière générale, étant donné l'état actuel des connaissances, nous ne pouvons dire dans quelle mesure les effets non ciblés amplifient les effets nocifs des rayonnements et, si c'était le cas, comment intégrer les effets non ciblés aux estimations des risques liés aux rayonnements.

Quelles méthodes convient-il d'adopter pour répondre aux questions scientifiques soulevées ci-dessus ?

Afin de mieux comprendre la nature des effets non ciblés, les études mécanistes sont essentielles car elles s'intéressent notamment à la réparation de l'ADN à de faibles doses et à de faibles débits de doses, aux différences entre les effets des rayonnements ionisants à faible et fort transfert linéique d'énergie (TLE) et à l'utilisation de nouvelles technologies, par exemple en analysant l'importance de la formation de foyers. La sensibilité génétique doit être étudiée à l'aide de systèmes modèles appropriés en se concentrant sur les composants génétiques et épigénétiques et en étudiant les différences individuelles.

Évolution probable

Une meilleure connaissance des effets non ciblés ne devrait pas influencer sur le niveau général des risques mais devrait, en revanche, contribuer à mieux expliquer l'origine des risques. D'après nos connaissances incomplètes actuelles, on peut supposer qu'une modification de la démarche utilisée aujourd'hui ne devrait pas être nécessaire.

Sensibilité individuelle

On appelle sensibilité individuelle la tendance de certains individus à être plus sensibles ou moins sensibles que d'autres aux dommages radio-induits. Cette hyper ou hyposensibilité peut être d'origine génétique, mais peut aussi résulter des conditions de vie (exposition à d'autres substances toxiques dans l'environnement, entre autres) ou des choix de vie (fumer, par exemple). L'importance que revêt la sensibilité individuelle pour la gestion de la radioprotection vient de ce que l'actuel système de radioprotection est fondé sur des valeurs moyennes et générales, qui s'applique indifféremment à tous les individus exposés ou potentiellement exposés. De ce fait, les décisions concernant la justification de la pratique, l'optimisation de la protection ou la limitation de l'exposition ne prennent forcément pas en compte la variabilité de la sensibilité de sorte qu'elles peuvent soumettre certains individus à des risques plus grands que d'autres.

À l'heure actuelle, il reste beaucoup à apprendre sur le plan scientifique dans ce domaine, par exemple en ce qui concerne la taille de la population potentiellement hypersensible et le degré de son hypersensibilité, l'éventail et la nature des expositions susceptibles de déclencher ces réactions d'hypersensibilité, les mécanismes de l'hypersensibilité qui peuvent être associés à d'autres facteurs environnementaux, etc. Néanmoins, l'existence de ces populations soulève des problèmes éthiques et réglementaires qui doivent être examinés afin que les autorités de sûreté ne soient pas amenées à prendre des dispositions hâtives et insuffisamment réfléchies si des découvertes scientifiques venaient confirmer les hypothèses pertinentes.

Pourquoi la sensibilité individuelle revêt-elle de l'importance ?

On a pu constater qu'aux doses élevées auxquelles sont soumis les patients soignés par radiothérapie, 5 % des patients traités pour un cancer sont hypersensibles aux rayonnements et développent des lésions de la peau beaucoup plus fréquemment que les autres patients. On pense que cette sensibilité

est d'origine génétique, mais on ne peut savoir avec certitude si cette sensibilité accrue à de fortes expositions est également susceptible d'augmenter le risque d'apparitions d'effets stochastiques chez l'être humain, même si ce risque a été mis en évidence dans des études sur l'animal.

En outre, on sait depuis quelque temps que les femmes sont en moyenne deux fois plus sensibles aux effets stochastiques radio-induits (cancer du sein, en particulier) et, d'autre part, que les jeunes enfants (jusqu'à cinq ans) sont environ cinq fois plus sensibles, en moyenne, aux effets stochastiques radio-induits que les adultes. Même s'il est vrai en général que des différences de risque de moins d'un ordre de grandeur sont loin de dépasser l'incertitude statistique correspondant à notre niveau actuel de connaissances, les personnes concernées ne considéreront peut-être pas que des différences d'un facteur de deux ou de cinq doivent être ignorées comme étant un bruit statistique.

Que savons-nous aujourd'hui de la sensibilité individuelle ?

La sensibilité individuelle se manifeste à de fortes doses, c'est-à-dire aux niveaux auxquels sont soumis les patients traités par radiothérapie, et peut se manifester à de faibles doses, par exemple aux doses auxquelles sont exposés des travailleurs sous rayonnement et le public en général. En ce qui concerne les malades soignés par radiothérapie, 5 % sont hypersensibles aux rayonnements et, parmi eux, 5 % (ou 0,25 % de l'ensemble des patients traités) sont extrêmement sensibles. Il importe également de souligner que certaines personnes seraient semblent-elles hypersensibles aux rayonnements sans que l'on puisse définir pour l'instant la taille de ce groupe.

Quelles questions scientifiques convient-il d'examiner ?

Il convient en particulier d'explorer les effets à doses élevées car on les a observés sur les patients traités par radiothérapie. Le lien avec des caractéristiques génétiques précises est notamment utilisé pour mettre au point des tests prédictifs permettant de déceler si un individu est susceptible d'être hypersensible aux rayonnements. Toutefois, si l'on veut que ces tests permettent vraiment de définir la stratégie thérapeutique à adopter pour un malade, il importe de mieux comprendre les mécanismes et les conséquences des effets produits par cette hypersensibilité ainsi que leur applicabilité : à savoir, il faut déterminer à quels niveaux d'exposition ils risquent de se manifester, le rôle que peut jouer l'âge au moment de l'exposition, etc. Il va de soi que

l'exactitude et la précision de ces essais prédictifs devront être convenablement validés.

Quels sont les aspects réglementaires du dossier ?

Parallèlement aux aspects scientifiques, la question de la sensibilité individuelle soulève aussi une série de questions réglementaires importantes. Ainsi, étant donné qu'il y a des individus hypersensibles dans les populations exposées qui ont servi à estimer le risque radiologique, en particulier les populations d'Hiroshima et de Nagasaki, il convient de se demander si les résultats obtenus tiennent suffisamment compte des individus hypersensibles. En fait, la plupart des estimations actuelles des risques sont-elles le résultat des risques observés chez ces individus ? Dans ce cas, serait-il justifié de réviser notre approche actuelle de la radioprotection soit en calculant une nouvelle limite de dose pour mieux protéger les individus hypersensibles et une autre limite pour les individus dits normaux, ou serait-il préférable de conserver une seule limite de dose choisie, en revanche, en fonction des risques courus par les individus hypersensibles ? De plus, si l'hypersensibilité se révèle être un aspect dont il faut tenir compte (certains individus courant deux fois, si ce n'est plus, le risque « normal »), il conviendrait d'étudier plusieurs autres aspects réglementaires, y compris la protection des équipes d'intervention de crise et, selon le niveau d'exposition concerné, peut-être la protection de la population (groupe sensible) durant les situations d'urgence (répercussions sur la méthode actuelle d'élaboration des plans d'intervention afin de les optimiser pour les femmes, les femmes enceintes et les enfants).

Quelles démarches faut-il adopter pour traiter les questions scientifiques soulevées ci-dessus ?

Compte tenu de la nature des questions scientifiques qui se posent, les stratégies crédibles devront entre autres comporter des modèles monocellulaires et des modèles animaux même si leur transposabilité à des organes et à des êtres humains doit être étudiée. Il conviendra, pour aller de l'avant, d'établir des priorités dans la recherche, ce qui nécessitera un véritable dialogue entre les chercheurs, les autorités nationales de radioprotection et la communauté de la radioprotection dans son ensemble. Pour définir ces priorités, il est essentiel de s'entendre sans ambiguïté sur la manière dont il convient d'apprécier la capacité de ces études d'apporter des réponses et de se demander si des facteurs de risque, comme l'âge, le régime alimentaire, le style de vie, etc. influent sur la sensibilité.

Évolution probable

Une difficulté associée à notre niveau actuel de connaissances est le besoin de déterminer les modifications nécessaires à notre approche actuelle de la radioprotection à mesure que les connaissances évoluent. En adoptant la méthode « Et si... ? », on peut s'attendre à plusieurs modifications après une caractérisation plus poussée de la population sensible (à savoir la partie de la population concernée, son niveau d'hypersensibilité, l'impact de l'âge et du sexe sur la sensibilité, etc.). À partir de ces connaissances, il est probable que des modifications des mesures de radioprotection seront envisagées aussi bien pour les doses élevées que les doses faibles.

Néanmoins, sur la base de notre savoir actuel et, en particulier, de notre perception du niveau probable d'augmentation des risques dans le cas d'une importante population d'individus hypersensibles, il ne semble pas nécessaire de changer radicalement l'approche actuelle de la radioprotection. Aucune modification précise n'est recommandée pour la protection des travailleurs sous rayonnement, la protection du public en général ou pour les programmes de dépistage dans la population (à savoir le dépistage médical ou l'analyse médico-légale).

Ce qui importe ici est de savoir qu'il existe une incertitude scientifique et d'être prêt à réagir de manière appropriée dès que l'on dispose de nouvelles données. Ainsi, là encore, sur la base de ce que nous savons aujourd'hui, il est proposé, pour l'exposition en situation d'urgence radiologique ou en médecine diagnostique ou thérapeutique, de réfléchir à un réajustement des mesures de protection pour tenir compte de la sensibilité individuelle.

Maladies cardiovasculaires

Il est généralement admis que la radioexposition du cœur ou d'autres parties de l'appareil circulatoire à de fortes doses (plusieurs Gy) se traduit par une augmentation à long terme du risque de maladies cardiovasculaires. Au cours des dix à quinze dernières années, le suivi prolongé des survivants de la bombe atomique et d'autres populations a permis de constater que les expositions aiguës à des doses relativement faibles (< 2 Gy) se traduisent aussi par une augmentation des risques de maladies cardiovasculaires.¹ Bien que les risques relatifs estimés soient plus faibles que pour le cancer, il ne fait pas de doute que les décès dus à des maladies cardiovasculaires radio-induites représenteront une fraction non négligeable de l'impact global

des rayonnements sur la mortalité des survivants de la bombe atomique. Néanmoins, ces données épidémiologiques n'apportent pas et ne pourront probablement pas apporter de preuves définitives de l'augmentation des risques de maladies cardiovasculaires induites par l'exposition à de faibles doses (par exemple 0,005 à 0,5 Gy). En dépit de cette incertitude, ces découvertes ont eu pour effet d'augmenter l'intérêt porté à l'identification des mécanismes expliquant les effets à long terme des rayonnements sur l'appareil circulatoire et ont incité à réexaminer les risques de maladies cardiovasculaires dans d'autres populations.

Pourquoi les maladies cardiovasculaires présentent-elles de l'intérêt ?

Le système de radioprotection ne tient pas spécifiquement compte des maladies cardiovasculaires à l'heure actuelle. La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) reconnaît l'existence de ce problème mais note que l'on observe des effets radio-induits au cours d'expériences à de fortes doses d'environ 1 Gy.² Des incertitudes demeurent sur la forme de la courbe doses/réponses à de faibles doses et sur l'existence d'un seuil aux environs de 0,5 Gy. En général, la CIPR considère que les données disponibles ne peuvent être intégrées aux estimations du détriment produit à la suite de faibles doses d'irradiation inférieures à 100 mSv. Ce point de vue est conforme à la conclusion du rapport du Comité scientifique pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) de 2008, qui estime qu'il y a peu de preuves d'un risque accru en-dessous de 1 Gy.³

L'UNSCEAR a consacré une annexe à ce sujet dans son rapport de 2008, et la CIPR et les autres groupes participant à la formulation de directives réglementaires devront inévitablement se demander comment intégrer les risques potentiels de maladies cardiovasculaires dans le système de radioprotection.

Aspects réglementaires et évolution probable

Si les principes de radioprotection venaient à être modifiés sur la base des estimations japonaises des risques et de l'hypothèse d'une relation linéaire sans seuil en tenant compte des risques de maladies cardiovasculaires, une révision importante s'imposerait. Il faudrait abaisser de 30 à 50 % les limites de dose actuelles, dans l'optique en particulier de l'optimisation de la protection. Dans ce cas, appliquer le principe de précaution supposera non seulement la modification du détriment mais aussi la prise en compte des

coûts et des autres conséquences associées à ce changement. Le système actuel de radioprotection sera alors fortement remis en question. Néanmoins, les participants à l'atelier sont convenus aussi que toute modification éventuelle devra être faite à la lumière des nouvelles données scientifiques et de jugements de valeur sérieux, ce qui implique davantage de recherche et de dialogue.

Avancées futures

L'Atelier science et valeurs en radioprotection fut le premier d'une série prévue par le CRPPH afin d'aborder les nouvelles questions scientifiques et les interrogations sur l'éventuelle nécessité de réviser ou de modifier les principes applicables et les critères utilisés en radioprotection. Son objectif était de faire naître un débat sur l'universalité des actuelles méthodes fondamentales de radioprotection et sur la possibilité qu'elles soient remises en question par de nouvelles données scientifiques. Il cherchait à mettre en lumière comment s'entendre sur le point de basculement, à savoir le stade auquel les aspects scientifiques et sociaux pris en compte par les décideurs et les autorités de sûreté pèsent suffisamment « pour faire pencher la balance » en faveur d'une nouvelle méthode, ou d'un nouveau modèle, réglementaire. Les participants ont conclu que le débat durant cet atelier, brièvement résumé ci-dessus, a permis de bien amorcer la réflexion sur les divers aspects de cette question scientifique et sociale importante.

Les membres du CRPPH ont estimé d'un commun accord que le second atelier devra souligner à nouveau que la protection radiologique est le fruit de la combinaison de données scientifiques et de jugements de valeur et devra se focaliser sur les problèmes de radioprotection qui se posent actuellement et restent des sources de difficultés. Ce second atelier devra, de ce fait, traiter d'une série de questions actuelles de radioprotection, non pas en se demandant « que se passerait-il si... » mais plutôt « que devons-nous faire à présent ». Cet atelier étudiera les problèmes sociaux et scientifiques soulevés par le radon, par l'augmentation des expositions médicales et par l'apparition de risques radiologiques de maladies cardiovasculaires.

Dans les trois domaines choisis pour l'atelier, les approches actuelles de la radioprotection n'ont pas encore donné tous les résultats désirés (notamment pour le radon et les expositions médicales), ou l'on estime que les éléments de preuve scientifiques ne suffisent pas à justifier une modification de la méthode actuelle (en l'occurrence pour les maladies

cardiovasculaires). Ainsi, si l'objectif de cet atelier n'est pas d'élaborer des recommandations détaillées sur les nouvelles méthodes, il est prévu que :

- Les parties prenantes dans chaque domaine présenteront et partageront leurs points de vue et les valeurs correspondantes, de sorte que grâce à une meilleure compréhension mutuelle, il leur sera plus facile d'élaborer des approches communes.
- Les participants examineront les raisons et justifications sociales et scientifiques de la nécessité d'adopter de nouvelles approches de la radioprotection dans chacun de ces domaines (point de basculement).
- Des démarches pratiques pour améliorer la radioprotection dans chaque domaine seront étudiées en se fondant sur les expériences nationales.
- Les participants préciseront les recherches et/ou analyses complémentaires dont on pourrait avoir besoin pour mieux comprendre les problèmes qui se posent et trouver les moyens de les aborder.
- Les processus et éléments qui pourraient contribuer à améliorer la radioprotection dans ces trois domaines, grâce à une meilleure prise en compte des aspects sociaux et scientifiques, seront mis en évidence.

Cet atelier devrait permettre de mieux comprendre comment prendre des décisions basées sur des jugements de valeur de manière de plus en plus transparente, en précisant les hypothèses et les principes fondamentaux adoptés. Il faut également espérer que l'examen de ces sujets permettra aux participants d'entendre des points de vue nationaux et institutionnels différents sur la manière dont il convient de relever les défis dans ces domaines. Un rapport résumant les résultats de cet atelier sera publié par l'AEN en 2010. ■

Références

1. Preston, D.L., Y. Shimizu, D.A. Pierce, et al. (2003), "Studies of Mortality of Atomic Bomb Survivors. Report 13: Solid Cancer and Non-cancer Disease Mortality 1950-1997". *Radiation Research*, Volume 160, N° 4, pp. 381-407.
2. CIPR (2008), *ICRP Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, *Annals of the ICRP*, Volume 37/2-4.
3. UNSCEAR (2008), *Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2006 Report, Volume 1 – Report to the General Assembly, with Scientific Annexes A and B*, Nations Unies, Comité scientifique pour l'étude des effets des rayonnements ionisants, Vienne.