



Nations Unies

Rapport du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants

**Cinquante-septième session
(16-20 août 2010)**

**Assemblée générale
Documents officiels
Soixante-cinquième session
Supplément n° 46**

Assemblée générale
Documents officiels
Soixante-cinquième session
Supplément n° 46

Rapport du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants

**Cinquante-septième session
(16-20 août 2010)**



Nations Unies • New York, 2010

Note

Les cotes des documents de l'Organisation des Nations Unies se composent de lettres majuscules et de chiffres. La simple mention d'une cote dans un texte signifie qu'il s'agit d'un document de l'Organisation.

ISSN: 0255-1381

Table des matières

<i>Chapitre</i>	<i>Page</i>
I. Introduction	1
II. Délibérations que le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants a tenues à sa cinquante-septième session	3
III. Rapport scientifique: résumé des effets des rayonnements à faibles doses sur la santé	7
A. Cancers radio-induits	8
B. Effets héréditaires de la radioexposition	14
C. Maladies non cancéreuses liées aux rayonnements	16

Chapitre premier

Introduction

1. L'exposition aux rayonnements ionisants provient de sources telles que les procédures de diagnostic et de traitement médical, les essais d'armes nucléaires, le radon et d'autres rayonnements naturels, les centrales nucléaires, les accidents tels que celui de Tchernobyl en 1986, et les professions qui favorisent l'exposition à des sources de rayonnement artificiel ou naturel.

2. Depuis sa création par la résolution 913 (X) de l'Assemblée générale en date du 3 décembre 1955, le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants évalue de manière générale les sources de rayonnements ionisants et l'effet que ces derniers ont sur la santé humaine et sur l'environnement¹. Dans le cadre de son mandat, le Comité étudie et évalue de manière approfondie, aux niveaux mondial et régional, les expositions aux rayonnements, ainsi que les effets que ces rayonnements produisent sur la santé des groupes exposés, y compris les survivants des bombardements atomiques effectués au Japon. Le Comité étudie également les progrès réalisés dans la compréhension des mécanismes biologiques par lesquels les rayonnements influent sur la santé ou l'environnement. Ces évaluations produisent les données scientifiques qu'utilisent, notamment, les institutions concernées des Nations Unies pour formuler, aux fins de la protection du public et des travailleurs contre les rayonnements ionisants, des normes internationales² qui influencent, à leur tour, d'importants textes juridiques et réglementaires.

¹ Le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants a été créé par l'Assemblée générale à sa dixième session, en 1955. Son mandat est défini dans la résolution 913 (X) du 3 décembre 1955. Le Comité comprenait à l'origine les États Membres suivants: Argentine, Australie, Belgique, Brésil, Canada, Égypte, États-Unis d'Amérique, France, Inde, Japon, Mexique, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, Suède, Tchécoslovaquie et Union des républiques socialistes soviétiques. Par sa résolution 3154 C (XXVIII) du 14 décembre 1973, l'Assemblée générale a élargi la composition du Comité où sont entrés les États suivants: Allemagne (République fédérale d'), Indonésie, Pérou, Pologne et Soudan. Par sa résolution 41/62 B du 3 décembre 1986, l'Assemblée générale a porté la composition du Comité à un maximum de 21 membres et a invité la Chine à en faire partie.

² Par exemple, les Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements, que parrainent actuellement l'Organisation internationale du Travail (OIT), l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), et l'Organisation panaméricaine de la santé.

Chapitre II

Délibérations que le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants a tenues à sa cinquante-septième session

3. Le Comité a tenu sa cinquante-septième session à Vienne du 16 au 20 août 2010³. Norman Gentner (Canada), Wolfgang Weiss (Allemagne) et Mohamed A. Gomaa (Égypte) ont assumé les fonctions de Président, de Vice-Président et de Rapporteur, respectivement. La session avait dû être reportée deux fois, la première en raison d'un empêchement personnel du Secrétaire du Comité, la seconde en raison des perturbations aériennes causées dans le monde par les éruptions volcaniques survenues en Islande en avril 2010. Le Comité a pris acte, en les appuyant, des deux lettres que son Président avait envoyées au Président de l'Assemblée générale pour l'informer des raisons de ces reports⁴.

4. En ce qui concerne le rapport assorti d'annexes scientifiques qu'il avait adopté en 2006⁵, le Comité a regretté que le volume II contenant les annexes intitulées "Effets indifférenciés et différés de l'exposition aux rayonnements ionisants", "Effets des rayonnements ionisants sur le système immunitaire" et "Évaluation des sources aux effets du radon dans les foyers et sur les lieux de travail" n'ait été publié qu'en juillet 2009. Il a en outre regretté, en ce qui concerne le rapport assorti d'annexes scientifiques qu'il avait adopté en 2008⁶, que le volume I contenant les annexes intitulées "Radioexpositions médicales" et "Expositions du public et des travailleurs à diverses sources de rayonnements" n'ait été publié qu'en juillet 2010, et que le volume II contenant les annexes intitulées "Radioexpositions accidentelles", "Conséquences sanitaires de l'accident de Tchernobyl" et "Effets des rayonnements ionisants sur les organismes vivants non humains" n'ait pas encore été publié. Le Comité a jugé intolérables ces retards, car les États Membres et les organisations intéressées⁷ utilisaient les informations contenues dans ces rapports, auxquels les membres du Comité avaient apporté de précieuses contributions, et parce que leur fondement technique serait périmé lorsqu'ils seraient publiés. Il a fait valoir auprès du secrétariat qu'il importait que les nouveaux documents relatifs à

³ Ont également participé à la cinquante-septième session du Comité des observateurs du Bélarus, de l'Espagne, de la Finlande, du Pakistan, de la République de Corée et de l'Ukraine, conformément à la résolution 64/85 de l'Assemblée générale, par. 14, ainsi que des observateurs du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), de l'OMS, de l'AIEA, de la Commission européenne, de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et de la Commission internationale des unités et des mesures de radiation.

⁴ A/64/223 et A/64/796.

⁵ Voir *Documents officiels de l'Assemblée générale, soixante et unième session, Supplément n° 46* (A/61/46).

⁶ Voir *Documents officiels de l'Assemblée générale, soixante-troisième session, Supplément n° 46* (A/63/46).

⁷ À sa cinquante-troisième session ordinaire, par exemple, la Conférence générale de l'AIEA a encouragé, dans sa résolution GC(53)/RES/10, intitulée "Mesures pour renforcer la coopération internationale dans les domaines de la sûreté nucléaire et radiologique et de la sûreté du transport et des déchets", le secrétariat à continuer à prendre en compte les informations scientifiques communiquées par le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants lors de l'élaboration des normes de sûreté de l'Agence.

l'accident de Tchernobyl soient publiés bien avant le vingt-cinquième anniversaire de l'accident.

5. Le secrétariat a indiqué que les retards étaient imputables, en partie, au manque de personnel et à l'absence de fonds suffisants, garantis et prévisibles, ainsi qu'aux procédures de publication appliquées à l'ONU. Le Comité a suggéré que l'Assemblée générale demande au Secrétariat de l'Organisation de rationaliser les procédures de publication des rapports du Comité destinés à la vente, conscient qu'il était essentiel, tout en maintenant la qualité, d'assurer la mise à disposition rapide de ces publications si l'on voulait atteindre les objectifs approuvés dans le budget-programme.

6. Le Comité a noté que l'Assemblée générale avait, dans sa résolution 63/89, prié le Secrétaire général, lorsqu'il établirait son projet de budget-programme pour l'exercice 2010-2011, d'envisager toutes les options, y compris la possibilité d'une redistribution interne des ressources, afin de mettre à la disposition du Comité les ressources indiquées aux paragraphes 48 et 50 de son rapport examinant les incidences financières et administratives de l'augmentation du nombre des membres du Comité, l'effectif du secrétariat spécialisé et les méthodes visant à assurer un financement suffisant, garanti et prévisible⁸. Le Comité a noté avec satisfaction qu'un poste d'administrateur supplémentaire, de classe P-4, avait été inclus dans le budget-programme pour l'exercice 2010-2011. Cela était conforme aux recommandations contenues dans le rapport du Secrétaire général et résoudrait le problème lié à l'utilisation, au secrétariat du Comité, d'un poste d'administrateur unique, ce qui l'avait rendu très vulnérable et avait compromis la bonne exécution de son programme de travail approuvé.

7. Le Comité a élaboré et approuvé, en vue de sa présentation à l'Assemblée générale, un rapport scientifique qui résume les effets que les rayonnements à faibles doses produisent sur la santé, y compris une synthèse des conclusions auxquelles il est parvenu en ce qui concerne les mécanismes d'action de ces rayonnements (chap. III ci-après). Il a considéré qu'il serait intéressant de diffuser largement ce résumé dans toutes les langues officielles de l'ONU.

8. Le Comité a examiné des documents de fond traitant de l'imputabilité d'effets sanitaires à la radioexposition et de l'incertitude inhérente à l'estimation des risques radiologiques. En ce qui concerne l'imputabilité d'effets sanitaires en présence de faibles doses, il a estimé qu'il fallait pouvoir attribuer scientifiquement le risque et les effets à doses à la fois élevées et faibles, aussi bien pour les populations que pour les individus. Un document définitif sur la question serait examiné à la cinquante-huitième session du Comité.

9. Le Comité a également examiné des documents préliminaires traitant de l'évaluation des niveaux de rayonnement imputables à la production d'énergie électrique, ainsi que la méthode qu'il utilisait pour estimer l'exposition due aux rejets. Il a reconnu que ses évaluations des radioexpositions imputables à la production d'énergie électrique, qui étaient actuelles et détaillées pour le cycle du combustible nucléaire, étaient en revanche périmées pour les niveaux accrus de matières radioactives naturelles liés à l'utilisation de combustibles fossiles et n'avaient, de surcroît, jamais été réalisées de manière comparable pour les sources

⁸ A/63/478 et Corr.1.

d'énergie renouvelables. Afin d'actualiser cette méthodologie pour procéder de manière équitable, il a été entrepris d'étudier des documents et de rassembler des données.

10. Le Comité a approuvé une stratégie élaborée pour améliorer la collecte, l'analyse et la diffusion de données. Cette stratégie reposait sur la mise au point de solutions électroniques, ciblait certains pays et postulait une collaboration avec d'autres réseaux, en particulier ceux de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS). Le Comité a suggéré que l'Assemblée générale a) invite les États Membres, les organismes des Nations Unies et les organisations intéressées à continuer de communiquer des données pertinentes sur les doses, les effets et les dangers des différentes sources de rayonnement, ce qui aiderait considérablement le Comité à élaborer les futurs rapports qu'il lui présenterait, et b) invite l'AIEA, l'OMS et d'autres organisations intéressées à collaborer avec le secrétariat du Comité pour définir et harmoniser les modalités de collecte et d'échange périodiques de données sur les radioexpositions du public, des travailleurs et, en particulier, des patients.

11. Le Comité a également examiné des plans d'étude des radioexpositions médicales, des effets biologiques de certains émetteurs internes et des expositions accrues aux sources de rayonnement naturelles imputables aux activités humaines, des plans d'élaboration d'une base de connaissances sur les niveaux et les effets des rayonnements, et des plans d'amélioration de l'information du public. Il a estimé qu'il faudrait concentrer l'étude de certains émetteurs internes sur le tritium et l'uranium; modifier le champ d'étude des expositions accrues aux sources de rayonnement naturelles pour ne pas faire double emploi avec d'autres travaux; et améliorer, avant d'élaborer une base de connaissances sur les niveaux et les effets des rayonnements, la collecte des données d'exposition.

12. Outre l'avancement du programme de travail en cours, le Comité a examiné des propositions concernant ses futures activités. Il a décidé de réfléchir, à titre préparatoire, à l'intérêt d'entreprendre une évaluation de fond des risques et des effets radiologiques encourus par les enfants, ainsi qu'une étude épidémiologique de l'irradiation à faibles doses et faibles débits de dose subie par le public du fait de sources de rayonnement naturelles et artificielles.

13. Le Comité a reconnu que, pour accélérer la mise en œuvre de son programme de travail, il serait souhaitable que des contributions volontaires soient versées au fonds général d'affectation spéciale créé par le Directeur exécutif du Programme des Nations Unies pour l'environnement pour recevoir et gérer les contributions volontaires destinées à appuyer les travaux du Comité. Ce dernier a suggéré que l'Assemblée générale invite les États Membres à envisager de verser, à ces fins, de telles contributions au fonds général d'affectation spéciale.

14. Le Comité a examiné dans le détail le reste du paragraphe 13 de la résolution 64/85 pour

continuer à réfléchir à la manière dont sa composition actuelle, de même que sa composition éventuellement révisée, faciliteraient au mieux ses travaux fondamentaux, notamment en élaborant, avec la participation des pays observateurs, des critères et des indicateurs détaillés, objectifs et transparents qui seraient appliqués équitablement et de manière identique aux membres actuels et aux futurs membres, et rendre compte de ses conclusions.

Ces conclusions sont présentées à l'additif 1 au présent rapport.

15. Le Comité a décidé de tenir sa cinquante-huitième session à Vienne du 23 au 27 mai 2011. Pour guider ses travaux à ses cinquante-huitième et cinquante-neuvième sessions, il a élu un nouveau Bureau: Wolfgang Weiss (Allemagne), Président; Carl-Magnus Larsson (Australie), Vice-Président; et Mohamed A. Gomaa (Égypte), Rapporteur.

Chapitre III

Rapport scientifique: résumé des effets des rayonnements à faibles doses sur la santé

16. Dans le cadre de ses travaux scientifiques, le Comité examine en particulier les données relatives aux effets sanitaires des radioexpositions. L'un des principaux objectifs est de fournir, sur la base des faits, des estimations des risques que présente, pour la santé humaine, l'exposition aux faibles doses et débits de dose de rayonnements que peuvent recevoir, dans le monde, le public, les travailleurs et les patients soumis à des procédures médicales. À ces fins, le Comité définit comme faibles les doses inférieures ou égales à 200 milligrays (mGy) et les débits de dose de 0,1 mGy par minute (étalés sur une heure ou moins) pour des rayonnements tels que les rayons X et gamma externes⁹; le Comité note, cependant, qu'à d'autres fins, on utilise, pour ces notions, des valeurs différentes. Le présent rapport regroupe et résume, en termes simples, la vision que le Comité a de la situation qui prévalait dans ces domaines jusqu'en 2006, telle qu'elle est présentée dans ses rapports à l'Assemblée générale^{10, 11, 12}.

17. Le Comité a produit, pour ce qui est des risques liés aux rayonnements, des estimations relatives au cancer et aux effets héréditaires. On observe, ces derniers temps, un accroissement des expositions à de faibles doses de rayonnement qui provoquent un nombre croissant de cataractes. On constate également avec inquiétude une incidence accrue des troubles circulatoires chez les populations irradiées à faibles doses. Ces maladies non cancéreuses surviennent naturellement et peuvent être relativement fréquentes dans la population générale. Il est très difficile d'imputer certains cas de maladie à une exposition à de faibles doses de rayonnement, notamment en raison:

- a) Du manque de spécificité des maladies induites par l'exposition à des rayonnements;
- b) De la longue période de latence (années ou décennies) qui s'écoule entre l'exposition et la survenue de maladies;
- c) De la forte incidence spontanée des maladies liées aux rayonnements dans la population générale âgée.

⁹ Lorsqu'un rayonnement ionisant traverse une matière, y compris un tissu vivant, il dépose de l'énergie qui finit par ioniser et exciter cette matière. La quantité d'énergie déposée, divisée par la masse de tissu exposé, est appelée "dose absorbée" et est généralement mesurée en milligrays (mGy).

¹⁰ *Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation — 2006 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes A and B*, vol. I (publication des Nations Unies, numéro de vente: F.08.IX.6 et rectificatif).

¹¹ *Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation — 2006 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes C, D and E*, vol. II (publication des Nations Unies, numéro de vente: F.09.IX.5).

¹² *Hereditary Effects of Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation — 2001 Report to the General Assembly, with Scientific Annex* (publication des Nations Unies, numéro de vente: F.01.IX.2).

Suite à une demande spécifique de l'Assemblée générale¹³, le Comité élabore un rapport complet sur la possibilité d'imputer scientifiquement des effets sanitaires à l'exposition à de faibles doses de rayonnement.

18. Les informations dont le Comité dispose sont globalement de deux ordres:

a) Résultats d'études d'excès de morbidité enregistrés dans des populations irradiées généralement à des doses modérées à élevées (études épidémiologiques);

b) Résultats d'études de modèles expérimentaux de maladies (études animales et cultures de cellules souvent associées à l'étude des effets sous-cellulaires, biochimiques et moléculaires des rayonnements) qui peuvent renseigner sur le mécanisme par lequel l'effet biologique ou la maladie survient.

19. Étant donné que les maladies en question peuvent être relativement fréquentes et leur incidence être influencée par des facteurs autres que la radioexposition, les observations épidémiologiques sont souvent incapables de prouver clairement qu'un accroissement de leur incidence est lié à l'exposition à de faibles doses de rayonnement. Aussi le Comité s'est-il attaché à exploiter pleinement les résultats produits récemment par les études expérimentales et la compréhension que l'on a aujourd'hui du mécanisme des maladies humaines. Pour estimer les risques sanitaires, il étudie des populations, et non des individus. Des éléments de plus en plus nombreux donnent à penser que des facteurs génétiques et autres peuvent influencer le risque de maladie; peut-être comprendra-t-on mieux ces facteurs à l'avenir.

A. Cancers radio-induits

20. Le mot "cancer" est un terme général utilisé pour décrire d'importantes perturbations de la croissance de cellules primitives d'organes corporels. Ces cellules, normalement, se développent et se divisent de manière coordonnée pour former les cellules spécialisées de l'organe. Lorsque, en revanche, elles croissent de manière anormale ou cessent de se développer, elles peuvent produire, dans un organe donné, une masse de cellules appelée "tumeur solide". Dans les cellules primitives de la moelle osseuse et de la lymphe, ces anomalies peuvent provoquer, respectivement, une leucémie et un lymphome. En fonction de l'organe touché et en l'absence de traitement, une croissance tumorale et les modifications cellulaires qu'elle induit peuvent provoquer des maladies graves, souvent fatales. Il existe de fortes preuves épidémiologiques que l'exposition d'humains à des doses modérées et élevées de rayonnement peut accroître l'incidence de tumeurs solides dans de nombreux organes et celle de la leucémie. On dispose également de données croissantes sur les mécanismes cellulaires et moléculaires qui peuvent provoquer ces cancers.

21. Les cancers ont de nombreuses causes, sont souvent graves chez les humains et sont fréquents, représentant environ un quart des décès dans les pays développés et un nombre croissant de décès dans les pays en développement. Comme on le verra ci-après, l'augmentation de l'incidence des cancers imputée à l'exposition à de faibles doses de rayonnement est, en comparaison, modeste.

¹³ Résolution 62/100, par. 6.

1. Études épidémiologiques

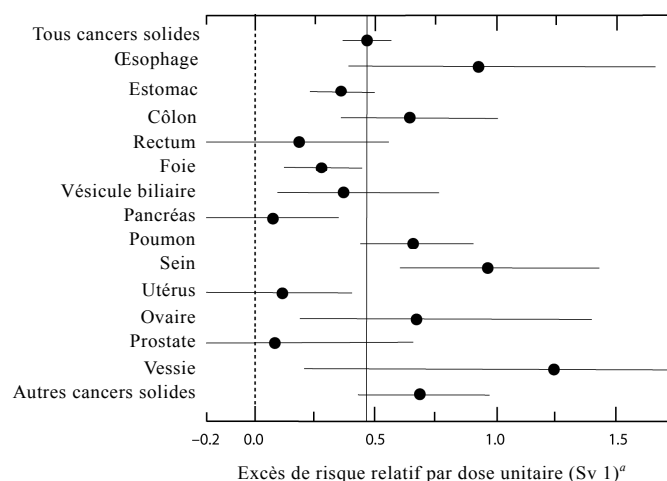
22. Le Comité a, pendant plusieurs années, examiné en continu toutes les études réalisées sur l'incidence des cancers liés aux rayonnements chez les populations humaines irradiées. Il a évalué, en particulier, la solidité de ces études, examinant un grand nombre de facteurs potentiels de confusion et la mesure dans laquelle ces études pouvaient statistiquement révéler une incidence accrue de cancers liés aux rayonnements. Il a évalué, notamment, leur intérêt statistique, le risque d'erreur systématique et les sources d'incertitude, y compris celles liées aux doses de rayonnement reçues. Il a également étudié le moyen le plus approprié d'estimer le risque chez des populations différentes de celles étudiées (estimation, par exemple, du risque encouru par une population des États-Unis à partir des estimations calculées pour les survivants des bombardements atomiques effectués au Japon).

23. Les données épidémiologiques relatives à l'incidence des cancers liés aux rayonnements proviennent d'études menées auprès des survivants des bombardements atomiques effectués au Japon, de groupes exposés dans leur milieu professionnel, de patients irradiés lors de procédures médicales et de personnes exposées à des rayonnements naturels. Ces dernières années, on a également pu détecter une incidence accrue du cancer du poumon chez des groupes de personnes exposées, chez elles, au gaz radioactif naturel qu'est le radon et à ses produits de filiation.

24. De toutes ces études, le Comité a estimé que celles qui renseignaient le plus sur l'exposition du corps entier aux rayonnements étaient celles réalisées auprès des survivants des bombardements atomiques effectués au Japon en 1945. Les gens avaient alors été exposés principalement à des débits de dose élevés de rayonnement gamma auxquels s'ajoutait une faible contribution neutronique. Le Comité a utilisé ces données pour évaluer les risques de cancer solide liés aux rayonnements, ainsi que le risque de leucémie et de lymphome. Malgré les incertitudes statistiques et autres qui limitent l'analyse des données, on a également pu étudier l'évolution du risque radiologique en fonction du sexe, de l'âge lors de l'exposition et de la durée écoulée depuis celle-ci, ainsi que la façon dont les risques peuvent différer selon l'endroit où l'on se trouve dans le monde. Il existe des types de cancer pour lesquels il n'existe aucune preuve d'accroissement du risque après une radioexposition et d'autres pour lesquels on ne constate un tel accroissement qu'après une exposition à de fortes doses de rayonnement. La figure I montre la variation de la sensibilité à l'induction de cancers solides en 13 endroits du corps, calculée à partir de la mortalité des survivants des bombardements atomiques effectués au Japon. La figure montre clairement d'importantes différences de risque d'induction de cancer en fonction des organes¹⁴.

¹⁴ En décembre 2000, 45 % des 86 611 survivants étaient encore en vie. Sur le total de 10 127 décès par cancers solides dus à toutes causes, on estime à 479 le nombre imputable à la radioexposition causée par les bombardements, de même qu'on estime à 93 sur 296 le nombre de décès par leucémie imputables à la radioexposition.

Figure I
Estimations du risque de mortalité par cancer solide pour différents organes sur la base de l'étude des survivants des bombardements atomiques effectués au Japon



Source: *Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation — 2006 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes A and B*, vol. I (publication des Nations Unies, numéro de vente: F.08.IX.6 et rectificatif), annexe A, fig. XI.

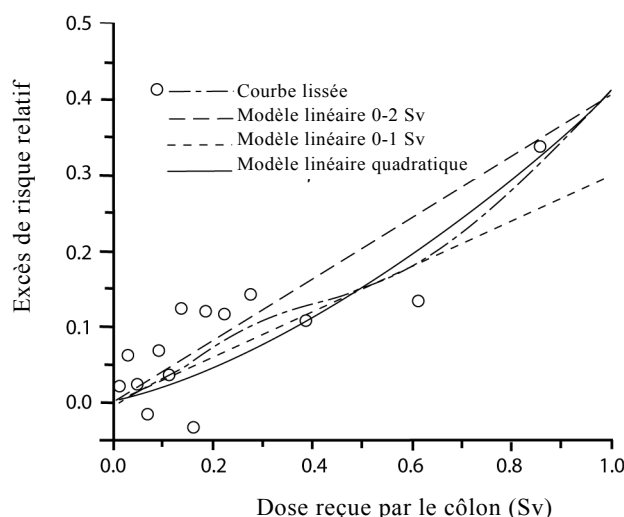
^a Tandis qu'on utilise le gray (Gy) pour exprimer la dose absorbée, on utilise, pour estimer l'effet biologique, une quantité pondérée qui tient compte du fait que différents types de rayonnement produisent différents effets biologiques pour la même quantité d'énergie déposée. La quantité pondérée est exprimée ici en sieverts (Sv). Les barres horizontales représentent des intervalles de confiance de 90 %.

25. Le Comité a utilisé les données épidémiologiques pour examiner la relation qui existe entre la dose de rayonnement reçue et le risque d'induction de cancer, c'est-à-dire la relation dose-effet. L'excès de risque relatif représente l'ampleur de l'augmentation, dans la population étudiée, du risque de cancer que présente le rayonnement à des doses données (plus les chiffres sont élevés, plus le risque est important). Les données des survivants des bombardements atomiques effectués au Japon pour tous les cancers solides combinés illustrent très clairement cette relation, présentée à la figure II. La relation dose-effet pour la mortalité à faibles doses illustrée à la figure II peut être décrite par une fonction à la fois linéaire et curviligne. Des augmentations statistiquement significatives du risque sont observées à des doses de 100 à 200 mGy et supérieures. Les études épidémiologiques ont peu de chances, à elles seules, de détecter des augmentations significatives du risque à des niveaux inférieurs à ces valeurs. Il est compliqué d'extraire de toutes les études d'information une estimation globale du risque d'induction de cancer que présente sur la durée de vie une radioexposition. Le Comité a utilisé des modèles mathématiques ainsi que les données relatives à la prévalence sous-jacente des cancers dans cinq populations de régions différentes du monde pour résoudre ce problème, tout en reconnaissant pleinement les incertitudes de ces estimations. Les estimations actuelles du Comité pour les risques de cancers

fatals radio-induits sont présentées au tableau 1; elles sont comparables à celles que le Comité et d'autres organismes avaient établies précédemment. Les estimations varient avec l'âge, les jeunes étant généralement plus sensibles; les études des radioexpositions in utero montrent que le fœtus est particulièrement sensible, un risque accru étant détecté à des doses égales ou supérieures à 10 mGy.

Figure II

Relation dose-effet pour la mortalité par cancers solides déduite des études réalisées en 2002 auprès des survivants des bombardements atomiques effectués au Japon



Source: *Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation — 2006 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes A and B*, vol. I (publication des Nations Unies, numéro de vente: F.08.IX.6 et rectificatif), annexe A, fig. IX.

26. Les radioexpositions subies par les survivants des bombardements atomiques effectués au Japon étaient très différentes de celles subies par la plupart des groupes de personnes exposées à des rayonnements professionnels ou naturels. Les premiers avaient été exposés à des rayonnements gamma et neutroniques externes, et ce, à des doses généralement fortes reçues sur de brèves périodes. Nombre des seconds, en revanche, avaient été longuement exposés à de faibles doses, parfois émises par des radionucléides ingérés. De précieuses informations sur ces dernières expositions ont été fournies par les études épidémiologiques réalisées sur la santé des travailleurs du complexe nucléaire Maïak, situé au sud de l'Oural (Fédération de Russie), et sur celle de la population établie près de la Tetcha, rivière qui a été exposée aux rejets radioactifs effectués par cette installation. Le suivi des personnes contaminées suite à l'accident de Tchernobyl a fourni des renseignements utiles sur les effets d'une exposition externe à de faibles doses de rayonnement, ainsi que sur les effets de l'exposition de la thyroïde à l'iode radioactif. Globalement, les estimations du risque de cancer faites à partir de ces études ne diffèrent pas grandement de celles faites à partir des études réalisées auprès des survivants des bombardements atomiques. En revanche, l'étude des populations humaines qui

vivent, en Chine et en Inde, dans des régions caractérisées par un fond de rayonnement naturel élevé ne montre pas que ces niveaux de rayonnement accroissent le risque de cancer. De nouvelles données continuent d'émerger de ces études et d'autres travaux. Le Comité continuera de les examiner.

Tableau 1

Excès de risque de mortalité sur la durée de vie (moyenne des deux sexes)^a

<i>Dose aiguë (Gy)</i>	<i>Cancers solides combinés (% à dose spécifiée)</i>	<i>Leucémie (% à dose spécifiée)</i>
0,1	0,36-0,77	0,03-0,05
1,0	4,3-7,2	0,6-1,0

Source: Effects of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation — 2006 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes A and B, vol. I (publication des Nations Unies, numéro de vente: F.08.IX.6 et rectificatif), annexe A, par. 593.

^a Un excès de risque de 1 % sur la durée de vie équivaut à 1 cas supplémentaire pour 100 personnes.

2. Études mécanistes

27. En comprenant les mécanismes de développement des cancers après une radioexposition, on peut plus facilement interpréter les données épidémiologiques, notamment en les projetant vers le bas pour estimer les risques associés aux faibles doses et débits de dose. Depuis 2000, le Comité s'emploie davantage à étudier l'évolution de la situation dans ce domaine.

28. Au fil des ans, les études menées sur le développement du cancer ont accumulé des éléments qui montrent qu'en général le processus débute par la modification (mutation) d'un ou de plusieurs gènes de l'ADN d'une cellule souche unique d'un organe corporel. On estime que le cancer se développe et que sa malignité apparaît par étapes, étapes que l'on associe également à une mutation ou à d'autres modifications de gènes cellulaires.

29. Le Comité a étudié les conclusions de ces études, ainsi que celles de nombreuses études des effets cellulaires et sous-cellulaires de la radioexposition. Ce que l'on pense savoir actuellement, c'est que l'énergie déposée dans la cellule après l'irradiation peut endommager toutes les composantes sous-cellulaires. Les principales cibles sous-cellulaires des modifications induites par les rayonnements sont les molécules d'ADN qui résident dans les chromosomes. L'ADN code les quelque 25 000 gènes qui coordonnent toutes les fonctions de chaque cellule et, si le dommage radiologique qui touche un gène (ou groupe de gènes) n'est pas réparé, la cellule peut mourir. Il se peut également que la cellule survive, mais avec des mutations de l'ADN qui affecteront son comportement. Une petite partie de ces mutations peut favoriser le développement d'un cancer. Les cellules possèdent plusieurs systèmes de réparation de l'ADN qui peuvent corriger de nombreuses formes de dommage, spontanées ou induites par des agents extérieurs. Globalement, ces systèmes servent à restaurer l'intégrité génétique de la cellule. Fait important, les mutations clefs qui surviennent dans le développement d'un cancer dépendent souvent de l'organe dans lequel la cellule irradiée se situe et se répartissent en deux

catégories principales: petites mutations spécifiques de gènes uniques et mutations entraînant une perte d'ADN (touchant parfois plusieurs gènes).

30. Des études très poussées sur la manière dont les rayonnements endommagent l'ADN des cellules, sur les systèmes cellulaires qui reconnaissent et réparent ce dommage, et sur l'apparition de mutations radio-induites de l'ADN ont jeté une nouvelle lumière sur les mécanismes potentiels de développement d'un cancer. Les rayonnements peuvent endommager simultanément les deux brins de la double hélice de l'ADN, ce qui entraîne souvent une rupture de la molécule d'ADN assortie de modifications chimiques complexes.

31. Ce type de dommage complexe causé à l'ADN est difficile à réparer et, même à de faibles doses de rayonnement, il est probable qu'il existera un risque très faible, mais non nul de production de mutations de l'ADN qui accroîtront le risque d'apparition d'un cancer. Ainsi, les données dont on dispose actuellement tendent à favoriser une réponse sans seuil aux mutations susceptibles d'induire un cancer à de faibles doses et débits de dose. Les informations dont on dispose sur la nature des mutations radio-induites donnent à penser que les pertes d'ADN (suppression de gènes) tendront à dominer ces mutations. Certains éléments donnent également à penser que la réduction du risque de cancer pour une exposition donnée à de faibles doses et débits de dose par rapport à celle subie à des doses et débits de dose élevés est liée, du moins en partie, à l'aptitude qu'ont les cellules à réparer les dommages causés à l'ADN par une radioexposition. Un facteur d'ajustement appelé facteur d'efficacité de la dose et du débit de dose est souvent utilisé pour prendre en compte la réduction comparative de l'effet due aux faibles doses et débits de dose; dans le rapport de 2006 du Comité¹⁰, cependant, on a directement utilisé, pour extrapoler les risques encourus à faibles doses, un modèle linéaire quadratique, sans appliquer de facteur d'efficacité de la dose et du débit de dose.

32. L'induction et le développement d'un cancer après une radioexposition n'est pas simplement une question d'accumulation progressive de mutations de l'ADN des cellules touchées. Des études ont émis, comme hypothèses, a) que l'adaptation des cellules et des tissus aux faibles doses de rayonnement pourrait les rendre plus résistants au développement de cancers (réaction adaptative); b) que les effets des rayonnements sur les systèmes immunitaires, qui reconnaissent et détruisent les cellules anormales, pourraient influencer la probabilité de développement de cancers; et c) que les rayonnements peuvent causer des changements qui produisent des effets durables et transmissibles sur la stabilité de l'ADN cellulaire (instabilité génomique) et/ou déclencher le transfert de signaux de cellules endommagées vers leurs voisines intactes (effets de proximité); l'instabilité génomique et les effets de proximité ont tous deux été mentionnés comme facteurs pouvant modifier le risque de cancer radio-induit. Ces facteurs et d'autres modulateurs tels que l'induction de réactions inflammatoires pourraient servir à accroître ou à réduire le risque de cancer radio-induit.

33. Après avoir examiné ces études, le Comité estime que ces processus ne facilitent pas grandement l'interprétation des données épidémiologiques.

34. Le risque de cancer dépend de la nature de la radioexposition. Les divers rayonnements (X, bêta et alpha) diffèrent par leur aptitude à induire des cancers. En outre, la radioexposition peut être interne (ingestion ou inhalation de matières radioactives) ou externe (source de rayonnement utilisée pour la radiographie

médicale). La dispersion de matières radioactives dans le corps suite à une absorption est un phénomène complexe, et des modèles élaborés sont nécessaires pour estimer les doses reçues par les tissus et leur impact sur la santé. Les expositions internes ont été l'une des principales caractéristiques des expositions subies suite à l'accident de Tchernobyl. Le Comité a spécifiquement étudié les conséquences de cet événement¹⁵. Des estimations du risque d'exposition interne sont également fournies par les études épidémiologiques réalisées auprès du personnel du complexe nucléaire Maïak (Russie) et de plusieurs autres groupes de personnes exposées.

35. Enfin, le Comité a fait le point sur ce que l'on sait en ce qui concerne les antécédents qui peuvent accroître la sensibilité à certains cancers par rapport à leur incidence normale. L'étude épidémiologique de patients ayant subi une radiothérapie a montré que les individus qui présentent certaines prédispositions courent un risque accru de développer un cancer après une radioexposition. Les résultats d'études expérimentales de cellules et d'animaux étayaient cette conclusion et donnent à penser que cette sensibilité accrue à la radioexposition des personnes prédisposées au cancer est peut-être plus générale. D'autres facteurs personnels (âge, statut hormonal et statut immunitaire) et environnementaux (exposition à des toxines, régime alimentaire) pourraient favoriser cette radiosensibilité. À l'heure actuelle, cependant, cette conclusion préliminaire se limite aux troubles héréditaires, là où une incidence excessive de cancers apparaît clairement dans des familles. Ces troubles sont trop rares dans les populations pour influencer les estimations du risque faites par le Comité, mais il est possible qu'un degré plus faible de sensibilité héréditaire aux cancers radio-induits soit plus fréquent.

B. Effets héréditaires de la radioexposition

36. Contrairement à l'étude des cancers radio-induits, les études épidémiologiques n'ont pas clairement démontré l'existence, chez les humains, d'un excès d'effets héréditaires de la radioexposition. L'étude la plus importante de ce type a utilisé les données relatives aux enfants des survivants des bombardements atomiques effectués au Japon. Ni cette étude ni aucune autre n'a observé un accroissement de la fréquence d'effets héréditaires. Elles ne permettent pas, par conséquent, d'estimer directement les risques héréditaires liés à la radioexposition. Elles ne confirment pas non plus qu'il n'existe aucun risque de tels effets, car il est difficile de détecter un faible excès d'incidence lié à la radioexposition au-dessus d'une incidence relativement élevée constatée dans des populations irradiées (tableau 2). Quoiqu'il en soit, les résultats de ces études sont utiles en ceci qu'ils peuvent indiquer, pour l'estimation du risque associé, une limite supérieure.

¹⁵ Voir *Documents officiels de l'Assemblée générale, soixante-troisième session, Supplément n° 46* (A/63/46).

Tableau 2
Estimations du risque de survenue, chez les enfants, de maladies héréditaires imputables à une exposition des parents à de faibles doses

<i>Maladies</i>	<i>Fréquence de référence (par million d'habitants)</i>	<i>Risque dans la première génération par dose unitaire à faible TLE^a (par million d'habitants exposés à 1 Gy)</i>
Dominantes (y compris maladies liées à l'X)	16 500	~750-1 500
Chromosomique	4 000	^b
Maladies multifactorielles chroniques	650 000	~250-1 200
Anomalies congénitales	60 000	~2 000

Source: Hereditary Effects of Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation — 2001 Report to the General Assembly, with Scientific Annex (publication des Nations Unies, numéro de vente: F.01.IX.2), annexe, tableau 46.

^a Les rayonnements à faible transfert linéique d'énergie (TLE) incluent les rayonnements X, gamma et bêta.

^b Supposé subsumé en partie par le risque de maladies autosomiques dominantes et liées à l'X et, en partie, par celui d'anomalies congénitales.

37. Tandis que les cancers causés par l'irradiation surviennent dans les organes des personnes directement exposées, les effets héréditaires trouvent leur origine dans les dommages causés à l'ADN des cellules germinales (spermatozoïdes et ovocytes) présentes dans les organes reproducteurs (testicules et ovaires) de ces personnes. Si ces dommages créent des mutations germinales, ces mutations peuvent alors être transmises à la descendance de la personne irradiée, puis aux générations suivantes. Une partie de ces mutations donnera directement lieu à des maladies héréditaires dominantes. D'autres mutations opèrent indirectement, interagissant avec d'autres gènes et facteurs liés au mode de vie et à l'environnement pour produire des maladies multifactorielles chroniques. Les deux types de maladie surviennent spontanément, causant des déficiences de naissance (anomalies congénitales) chez les enfants. L'étude de l'incidence des malformations congénitales chez un grand nombre de nouveau-nés des régions d'Inde et de Chine qui présentent un fond de rayonnement naturel élevé n'a pas mis en évidence une augmentation de la fréquence des malformations.

38. Les démonstrations les plus claires des effets héréditaires de la radioexposition ont été apportées par d'importantes études expérimentales réalisées à hautes doses sur des animaux, en particulier sur des souris de laboratoire. Le Comité a passé en revue et analysé les données de ces études relatives aux mutations à la lumière des nouvelles informations dont on dispose sur les mutations germinales concernées (principalement des pertes d'ADN) et la façon dont elles produisent des effets chez les descendants des personnes exposées. Il a adopté, pour mesurer ces effets, la "dose de doublement des mutations". Cette dose est celle qui produira autant de nouvelles mutations en une génération que celles qui surviennent spontanément. Jusqu'à récemment, la dose de doublement calculée à partir des seules études réalisées sur des souris était estimée à 1 Gy, et c'est elle qui a été utilisée pour

évaluer les effets héréditaires chez les populations humaines qui avaient été exposées à de faibles doses pendant plusieurs générations.

39. En 2001, le Comité a révisé ses méthodes pour:

- a) Inclure de nouvelles estimations du taux de mutation spontanée chez les humains;
- b) Tenir compte des effets létaux qu'ont certaines mutations sur le développement de l'embryon et d'autres qui disparaîtront de la population, car ils empêchent ou réduisent grandement la probabilité de procréation humaine;
- c) Utiliser une nouvelle relation entre l'entrée de nouvelles mutations dans la population et l'incidence de maladies héréditaires.

40. Grâce aux révisions et analyses ci-dessus, le Comité a pu fournir non seulement une nouvelle estimation du risque de maladies héréditaires dominantes monogéniques, mais également, pour la première fois, une estimation du risque de maladies multifactorielles. Ces estimations, présentées au tableau 2, se fondent sur un cadre scientifiquement plus robuste que celui dont on disposait avant 2001. Les progrès rapides des techniques de séquençage de l'ADN et la compréhension des variations génétiques humaines fourniront peut-être, à l'avenir, des informations plus directes sur le risque héréditaire.

C. Maladies non cancéreuses liées aux rayonnements

41. La radioexposition de l'embryon ou du fœtus pendant la grossesse peut également favoriser l'apparition de maladies non cancéreuses chez les enfants. Outre l'induction de malformations congénitales, elle touche particulièrement le système nerveux central. Le risque est influencé par deux principaux facteurs: la dose de rayonnement et le stade de développement de l'embryon ou du fœtus au moment de l'exposition. Sur la base, principalement, d'études animales et d'observations faites suite à l'exposition de femmes enceintes à de fortes doses, le Comité estime qu'il existe, pour ces effets, un seuil à environ 100 mGy.

42. Il existe une accumulation d'éléments qui donnent à penser que le risque de maladies communes, outre celui de cancer, peut augmenter suite à une irradiation, du moins à des doses modérées à élevées. Ces éléments proviennent principalement des études épidémiologiques réalisées auprès des survivants des bombardements atomiques effectués au Japon et qui concernent, en particulier, les maladies du système circulatoire. Dans son Rapport de 2006¹⁰, le Comité a examiné des éléments qui provenaient à la fois des études menées auprès des survivants japonais et de diverses études d'autres groupes irradiés. Les difficultés rencontrées pour effectuer cette analyse ont notamment été la forte occurrence de fond de ces maladies dans les populations non irradiées; la nécessité de bien prendre en compte des facteurs autres que la radioexposition (tabagisme, cholestérol, prédisposition héréditaire); et l'absence de mécanismes cellulaires identifiés associés à leur développement. Les seules preuves évidentes d'un excès de risque de maladies cardiovasculaires lié à une radioexposition, à des doses inférieures à 1 à 2 Gy reçues par le cœur, proviennent des données relatives aux survivants japonais. Les autres études examinées par le Comité n'ont pas démontré l'existence d'un excès de maladies cardiovasculaires à des doses plus élevées. Pour toutes les autres maladies

non cancéreuses combinées, il s'applique la même conclusion générale que pour les maladies cardiovasculaires. Le Comité n'a pu tirer aucune conclusion quant à l'existence d'une relation directe de cause à effet entre une irradiation à des doses inférieures à 1 à 2 Gy et une incidence excessive de maladies cardiovasculaires et d'autres maladies non cancéreuses. Pour ces maladies, la forme de la relation dose-effet à faibles doses n'apparaît pas encore clairement.

43. Des études épidémiologiques récentes font ressortir des risques accrus de maladies non cancéreuses en dessous de doses de 1 à 2 Gy et, parfois, à des doses bien inférieures. Les mécanismes associés, cependant, ne sont pas encore clairs et il reste difficile d'estimer les risques à faibles doses. C'est là un domaine dans lequel la recherche s'active et que le Comité continuera de suivre.

44. En 2006, le Comité a également étudié les effets des rayonnements ionisants sur le système immunitaire¹¹. En principe, si les rayonnements avaient pour effet d'accroître ou de réduire l'aptitude qu'a le corps à opposer une réaction immunitaire à une infection, à un cancer ou à une autre maladie, cela devrait affecter le risque de survenue d'une maladie radiosusceptible. Or, après examen de nombreuses études, il demeure impossible de déterminer clairement si les rayonnements à faibles doses stimulent ou limitent les réponses immunitaires.

45. Enfin, le Comité a noté que des études récentes suggéraient également qu'une incidence accrue des cataractes pouvait être liée à l'exposition à de faibles doses de rayonnement. La survenue de ces anomalies sur le cristallin de l'œil est reconnue depuis quelques années comme un effet d'exposition à de fortes doses. Quant aux maladies du système circulatoire, le Comité continuera de suivre et d'examiner les nouvelles découvertes faites dans ce domaine. En outre, les mécanismes susceptibles d'expliquer les maladies radio-induites, comme l'instabilité génomique et les effets de proximité, continueront d'être examinés, de même que les nouveaux concepts et techniques qui peuvent aider à mieux comprendre les effets sanitaires de l'exposition à de faibles doses de rayonnement et les mécanismes qui sous-tendent ces effets.