



RAPPORT
DU COMITÉ SCIENTIFIQUE
DES NATIONS UNIES
POUR L'ÉTUDE DES EFFETS
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

DOCUMENTS OFFICIELS : VINGT-SEPTIÈME SESSION

SUPPLÉMENT N° 25 (A/8725)

NATIONS UNIES

RAPPORT
DU COMITÉ SCIENTIFIQUE
DES NATIONS UNIES
POUR L'ÉTUDE DES EFFETS
DES RAYONNEMENTS IONISANTS

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE
DOCUMENTS OFFICIELS : VINGT-SEPTIÈME SESSION
SUPPLÉMENT N° 25 (A/8725)



NATIONS UNIES

New York, 1972

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.

TABLE DES MATIERES

	<u>Paragraphes</u>	<u>Pages</u>
Introduction	1 - 7	1
<u>Chapitre</u>		
I. Sources et doses d'irradiation	8 - 31	4
II. Effets génétiques	32 - 45	11
III. Effets des rayonnements sur la réponse immunitaire ..	46 - 50	15
IV. La radiocancérogénèse	51 - 59	17

INTRODUCTION

1. Le présent document, qui est le sixième rapport détaillé du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants^{1/} à l'Assemblée générale, passe en revue les niveaux de rayonnement de toutes provenances auxquels l'homme est exposé et, parmi les effets des rayonnements ionisants, traite des effets génétiques, des effets sur la réponse immunitaire et des affections malignes induites chez les animaux et chez l'homme. Ce ne sont pas là les seuls effets des rayonnements ionisants. Ne sont examinés ici ni les effets aigus de doses massives de rayonnement qui pourraient être reçues par suite d'un accident ou d'une guerre nucléaire (le bref exposé qui figure à ce sujet dans le rapport de 1962 reste valable en grande partie, du moins à titre d'introduction), ni les effets sur le système nerveux, ni les aberrations chromosomiques radio-induites dans les cellules humaines, le Comité ayant examiné ces deux derniers sujets dans son rapport de 1969.

2. Le présent rapport, à la différence des précédents, ne comprend pas les annexes techniques où le Comité examine en détail les données disponibles et justifie pleinement ses conclusions, lesquelles sont simplement énoncées dans le rapport. Toutefois, les annexes paraissent séparément en 2 volumes en même temps que le rapport ^{2/} et le Comité signale à l'Assemblée que cette présentation répond uniquement à un souci de commodité et que les données scientifiques fournies dans les annexes présentent une grande importance.

3. Le rapport a été préparé au cours des vingtième, vingt et unième et vingt-deuxième sessions du Comité ^{3/}. Le gros du travail s'est fait au cours de

^{1/} Pour les rapports détaillés précédents du Comité, voir Documents officiels de l'Assemblée générale, treizième session, Supplément No 17 (A/3838); ibid., dix-septième session, Supplément No 16 (A/5216); ibid., dix-neuvième session, Supplément No 14 (A/5814); ibid., vingt et unième session, Supplément No 14 (A/6314); et ibid., vingt-quatrième session, Supplément No 13 (A/7613). Ils seront désignés respectivement rapport de 1958, de 1962, de 1964, de 1966 et de 1969. Le Comité scientifique a été créé par l'Assemblée générale à sa dixième session en 1955. Son mandat figure dans la résolution 913 (X). Il est composé des Etats Membres suivants : Argentine, Australie, Belgique, Brésil, Canada, Egypte, Etats-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.

^{2/} Rayonnements ionisants : niveaux et effets, vol. I : niveaux (Publication des Nations Unies, numéro de vente : F.72.IX.17) et Vol. II : effets (Publication des Nations Unies, numéro de vente : F.72.IX.18). Le volume I contient les appendices et les annexes A à D; dans le volume II figurent les annexes E à H.

^{3/} La vingtième session s'est tenue à l'Office des Nations Unies, à Genève, du 21 au 25 septembre 1970; les vingt et unième et vingt-deuxième sessions ont eu lieu au Siège du 14 au 25 juin 1971 et du 13 au 24 mars 1972 respectivement.

réunions de groupes de spécialistes qui ont examiné les documents établis par le Secrétariat, modifiés suivant les demandes du Comité à mesure que la rédaction avançait. Le rapport proprement dit a été rédigé à la vingt-deuxième session. Les postes de Président, de Vice-Président et de Rapporteur ont été occupés respectivement, à la vingtième session par M. B. Lindell (Suède), M. V. Zeleny (Tchécoslovaquie) et M. L. R. Caldas (Brésil); à la vingt et unième session par M. B. Lindell (Suède), M. F. H. Sobels (Belgique) et M. L. R. Caldas (Brésil); et à la vingt-deuxième session, par M. L. R. Caldas (Brésil), M. F. H. Sobels (Belgique) et M. A. Nelson (Suède). La liste des noms des spécialistes qui ont participé à la vingtième, à la vingt et unième et à la vingt-deuxième sessions en tant que membres des délégations nationales figure à l'appendice I*.

4. Le Comité rappelle qu'il a communiqué en 1971 au secrétariat de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement un document d'information concernant l'évaluation et la prévention de la contamination du milieu, document fondé sur son expérience en matière de radioactivité artificielle. Il a conscience que son mandat actuel, tel qu'il est énoncé dans la résolution 913 (X) de l'Assemblée générale, lui permet, grâce à ses ressources, d'apporter une utile contribution à la Stratégie des Nations Unies pour l'environnement qui se dégagera peut-être de la Conférence sur l'environnement, et il est prêt à jouer un rôle à cet égard. Il se rend compte d'autre part que, dans les conditions actuelles, il peut continuer de s'acquitter de ses tâches courantes tout en faisant rapport moins fréquemment à l'Assemblée générale. Il demande donc à être libéré de l'obligation de faire rapport à l'Assemblée avant la vingt-neuvième session et, si cette demande est acceptée par l'Assemblée, il envisage de ne pas se réunir avant la fin de 1975, à moins qu'on lui demande d'entreprendre de nouvelles tâches, soit dans le cadre de la stratégie des Nations Unies pour l'environnement, soit à la suite d'une demande spéciale.

5. Le Comité a été aidé dans ses travaux par une petite équipe scientifique et par des consultants désignés par le Secrétaire général. L'équipe scientifique et les consultants ont été chargés de procéder à l'examen et à l'évaluation préliminaire des renseignements techniques reçus par le Comité ou publiés dans des documents scientifiques. Le Comité, tout en assumant l'entière responsabilité du présent rapport, tient à remercier les personnalités scientifiques qui l'ont aidé et conseillé et dont les noms apparaissent à l'appendice II*. Il doit beaucoup à leur concours et à leur savoir.

6. Des représentants de l'Organisation internationale du Travail (OIT), de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) ainsi que de la Commission internationale de protection contre les radiations (CIPR) et de la Commission internationale des unités et mesures radiologiques (CIUMR) ont assisté aux sessions tenues par le Comité pendant la période considérée. Le Comité tient à les remercier vivement de leur participation aux débats.

* Cette liste n'est pas reproduite dans le présent document, mais figure dans la publication intitulée Rayonnements ionisants : niveaux et effets, Vol. I : niveaux (Publication des Nations Unies, numéro de vente : F.72.IX.17).

7. La liste des rapports que le Comité a reçus des Etats Membres de l'Organisation des Nations Unies ou membres des institutions spécialisées ou de l'Agence internationale de l'énergie atomique ainsi que des rapports reçus de ces institutions elles-mêmes entre le 17 mai 1969 et le 24 mars 1972 figure à l'appendice III* du présent rapport. Les rapports reçus avant le 17 mai 1969 étaient mentionnés dans les rapports précédents du Comité à l'Assemblée générale. Les renseignements reçus officiellement par le Comité ont été complétés par des données provenant des documents scientifiques courants ou de communications personnelles, non publiées, de certains scientifiques, et ils ont été interprétés à la lumière de ce complément d'information.

CHAPITRE PREMIER

SOURCES ET DOSES D'IRRADIATION

A. Rayonnement ambiant^{4/}

1. Rayonnement naturel

8. L'homme a été continuellement exposé au rayonnement naturel depuis son apparition sur terre et, il y a moins de 100 ans encore, il n'était exposé qu'à ce rayonnement. Même maintenant, en dépit de l'utilisation accrue de dispositifs émettant des rayonnements, de la contamination radioactive générale résultant des essais d'armes nucléaires et de l'utilisation grandissante de l'énergie nucléaire et des radioisotopes, les sources naturelles contribuent pour la plus grande part à l'irradiation à laquelle est exposé le gros de la population humaine, et cela ne changera probablement pas dans l'avenir prévisible.

9. Le rayonnement naturel est d'origine double, extra-terrestre et terrestre. Le rayonnement extra-terrestre apparaît dans l'espace extra-atmosphérique à l'état de rayons cosmiques primaires dont l'énergie et les particules atteignent l'atmosphère et réagissent avec elle, donnant naissance aux rayons cosmiques secondaires, auxquels les êtres vivants qui se trouvent sur la surface du globe sont exposés. Le débit de dose dû aux rayons cosmiques est assez constant en un point donné de la surface terrestre, mais il varie avec la latitude et dans une plus large mesure avec l'altitude. Les valeurs courantes au niveau de la mer dans les latitudes tempérées sont de l'ordre de 30 millirads par an. A mesure que l'altitude augmente, le débit de dose se trouve multiplié par deux à peu près tous les 1 500 mètres d'altitude, pendant les premiers kilomètres.

10. Des problèmes particuliers se posent pour les avions volant à haute altitude. Dans ce cas, non seulement le débit de dose dû aux rayons cosmiques est toujours plus élevé qu'aux basses altitudes, mais encore il peut, en de rares occasions, augmenter soudainement par suite de l'émission de particules de grande énergie due à des éruptions solaires. Parfois, le débit de dose est si élevé que l'avion doit descendre dans les couches protectrices de la basse atmosphère afin d'éviter que l'équipage et les passagers ne subissent une irradiation inacceptable. Les équipages des avions supersoniques qui accompliront plus de 500 heures de vol à haute altitude et sous des latitudes élevées absorberont probablement des doses un peu plus fortes que les équipages des appareils actuels à réaction. Les doses auxquelles les passagers seront exposés par kilomètre de vol seront sans doute à peu près les mêmes dans les appareils supersoniques que dans les appareils à réaction classiques du fait que le temps de vol sera plus court dans les premiers.

^{4/} Pour plus amples détails, voir annexe A.

11. Le rayonnement terrestre est émis par les radioéléments présents en plus ou moins grande quantité dans tous les sols et roches, l'atmosphère et l'hydrosphère, et par la fraction d'entre eux qui, passant dans le corps humain par les chaînes alimentaires ou par inhalation, se dépose dans ses tissus. L'irradiation d'origine terrestre est donc à la fois externe et interne. Les débits de dose dus à l'irradiation externe varient selon la nature du sol et des matériaux de construction, alors que les débits de dose dus à l'irradiation interne sont relativement constants. La population du globe reçoit dans sa majeure partie des débits de dose de l'ordre de 50 et 20 millirads par an due respectivement à l'irradiation terrestre externe et interne. Des débits de dose 10 fois plus importants sont reçus par les populations (quelques centaines de milliers de personnes) qui vivent dans des régions dont le sol renferme de grandes quantités d'uranium et de thorium.

2. Rayonnement ambiant dû à des sources artificielles

a) Essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère et en surface

12. Les essais d'armes nucléaires ont été beaucoup moins fréquents ces dernières années. Les essais réalisés avant 1963 continuent à représenter de loin la plus grande série d'explosions ayant donné lieu à une contamination radioactive mondiale. Mais les débris projetés dans la stratosphère à la suite de ces essais se sont maintenant presque entièrement déposés sur la surface du globe, de sorte que la radioactivité résiduelle due aux premiers essais est maintenant surtout présente dans les sols, les plantes et les tissus animaux dont elle est constamment éliminée par des mécanismes physiques et biologiques. Comme par le passé, le Comité a examiné la part des radioéléments engendrés par les essais nucléaires dans les doses moyennes totales auxquelles certains tissus seront exposés d'ici l'an 2000.

13. L'absorption de strontium-90, radioélément qui se dépose dans les os, est maintenant moindre que dans le passé parce que le strontium-90 qui se trouve dans le sol est absorbé en assez petite quantité par les plantes utilisées pour l'alimentation de l'homme ou du bétail, tandis que le dépôt direct de strontium-90 sur la végétation, qui était le principal mécanisme de contamination lorsque les retombées étaient considérables, contribue maintenant fort peu à l'absorption de ce radioélément. De ce fait, la concentration de strontium-90 a beaucoup baissé chez les enfants et chez les adultes. Comme les taux de dépôt de strontium-90 sont maintenant beaucoup moins élevés qu'il y a quelques années, il est possible d'évaluer concrètement les taux de disparition de ce radioélément du sol et du corps humain. Ces valeurs diffèrent de celles que le Comité, faute d'estimations directes, a retenues jusqu'à présent; elles conduisent à des estimations de dose engagée plus faibles que le Comité ne l'avait admis dans son dernier rapport. En revanche, les estimations des doses d'irradiation externe intéressant tous les tissus et dues aux retombées déposées sur le sol ont été majorées. De ce fait, bien que la réserve totale de radioéléments à longue période engendrés par les essais nucléaires ait à peine changé, l'importance relative du strontium-90 en tant qu'élément de la dose totale qui doit être reçue d'ici l'an 2000 est moindre que dans le passé, le principal élément étant maintenant dû aux radioéléments qui

entraînent une irradiation externe, et en particulier au césium-137. La dose totale par habitant à laquelle l'ensemble de la population du globe sera exposée entre 1955 et l'an 2000 du fait des essais effectués entre 1955 et la fin de 1970 correspond à environ deux années d'exposition aux sources naturelles. Cependant, comme les essais d'armes nucléaires n'ont pas cessé en 1971, il faudra peut-être majorer les estimations de la dose engagée.

14. L'iode-131 est un radioélément qui pose des problèmes particuliers parce qu'il se concentre dans la thyroïde et qu'il irradie plus cette glande que tout autre tissu, les doses par unité ingérée (surtout à partir du lait) étant plus élevées chez les nourrissons. La présence d'iode-131 dans le lait a été signalée dans plusieurs pays de l'hémisphère austral après chacune des séries d'essais effectuées en 1970 et 1971 dans l'hémisphère sud. Les doses annuelles moyennes à la thyroïde des nourrissons ont été de l'ordre de quelques dizaines de mrad, et les doses annuelles les plus élevées sont restées nettement inférieures à celles constatées au cours des années antérieures à 1963 dans l'hémisphère nord.

b) Production d'énergie électronucléaire

15. La production à grande échelle d'énergie électronucléaire suppose un cycle d'opérations complexes dont la plupart impliquent des rejets de substances radioactives dans l'environnement et un risque correspondant d'irradiation pour la population. Le Comité a examiné l'irradiation qui a résulté jusqu'à présent ou qui pourra résulter dans l'avenir de ces rejets dans le monde entier, en tenant compte des renseignements publiés ou des renseignements qui lui ont été directement soumis. Quoique ces renseignements n'aient été fournis que par quelques-uns seulement des pays où des réacteurs sont en service, il n'y a pas de raison de penser que l'irradiation à laquelle le cycle d'opérations nécessite par la production d'énergie expose la population est très différente dans d'autres pays. Le Comité n'a pas examiné la question de la contamination qui pourrait résulter dans l'avenir de rejets radioactifs accidentels.

16. Dans le cycle complet des opérations de production (extraction et concassage du minerai, fabrication et enrichissement du combustible, production d'énergie dans des réacteurs et traitement du combustible irradié), les deux dernières opérations contribuent principalement à l'irradiation totale à laquelle la population est exposée du fait de la production d'énergie électronucléaire, surtout en raison de l'exposition professionnelle des travailleurs dans ces deux parties du cycle.

17. L'irradiation est à la fois locale (se rapportant à un nombre limité d'habitants vivant à proximité des installations nucléaires) et mondiale. La dose due à l'irradiation externe provient en grande partie des gaz rejetés par les cheminées, une plus faible contribution provenant des effluents liquides. La dose annuelle mondiale à laquelle la population serait exposée par suite de la production d'énergie au rythme enregistré en 1970 représente, estime-t-on, un cent millième de la dose moyenne annuelle due aux sources naturelles. Les doses locales peuvent être plusieurs fois plus élevées que les doses mondiales.

18. D'après les estimations de l'Agence internationale de l'énergie atomique, la capacité mondiale de production d'énergie nucléaire augmentera plus de 200 fois

d'ici l'an 2000. Avec les techniques et les pratiques opérationnelles actuelles, si la production d'énergie nucléaire devait se stabiliser au niveau que l'on estime devoir être atteint d'ici l'an 2000, la dose mondiale annuelle due au cycle de production d'énergie pourrait atteindre deux millièmes de celle reçue chaque année de sources naturelles. L'ordre de grandeur des doses locales est plus difficile à prédire car celles-ci dépendent de la densité de la population aussi bien que de la production des installations, mais les doses dues chaque année à la production continue d'énergie au niveau estimé pour l'an 2000 ne dépasseront probablement pas sensiblement les doses annuelles globales dues à ces sources. Grâce aux progrès techniques, il sera peut-être possible de réduire considérablement les doses prévues.

c) Explosions nucléaires à des fins pacifiques

19. Les applications pacifiques des explosions nucléaires offrent des possibilités qui n'ont pour ainsi dire pas été exploitées. Celles de ces applications qui ont des chances de l'être dans un proche avenir sont, pour ce qui est des explosions souterraines contenues, la récupération des ressources naturelles souterraines (en particulier le gaz naturel et le pétrole) ou la formation de cavités pour emmagasinage souterrain, et, pour ce qui est des explosions d'excavation, la construction de réservoirs, de ports, de canaux, etc. Ces deux types d'explosions peuvent exposer la population à une irradiation, liée surtout à la radioactivité des ressources récupérées dans un cas et à la libération de substances radioactives dans l'environnement, dans l'autre. Leurs applications pratiques devront donc probablement faire l'objet d'accords internationaux en vue d'assurer la protection du public.

20. Il ressort d'une évaluation détaillée de la radioactivité artificielle du gaz naturel récupéré à la suite de la première explosion expérimentale contrôlée que si le gaz avait été introduit dans le réseau de distribution qui fournit du gaz aux sept millions d'habitants de la région de Los Angeles (Californie, Etats-Unis), ceux-ci auraient été exposés à une dose équivalant à quelque cent millièmes de celle reçue chaque année de sources naturelles. Or, l'explosif utilisé dans cette expérience n'était pas spécialement conçu pour la stimulation du gaz et il faut compter que les nouveaux explosifs qui sont actuellement mis au point permettront de maintenir la contamination du gaz à des niveaux si bas que la distribution de gaz à des fins de consommation industrielle et même domestique sera probablement justifiée.

21. De par leur nature même, les explosions d'excavation entraînent toujours le rejet de substances radioactives dans l'atmosphère. Les quelques rares explosions qui ont été effectuées l'ont été jusqu'à présent à titre expérimental, mais l'une d'elles a servi en Union soviétique à la création d'un réservoir d'eau. La technique actuelle permettra peut-être d'utiliser les explosions d'excavation pour l'exécution de petits projets dans des régions isolées. Pour ce qui est des projets plus importants, la sécurité des populations vivant à proximité, de même que la possibilité d'une contamination à long terme, posant des problèmes qui limiteront considérablement les possibilités d'action, tant que des progrès techniques décisifs n'auront pas été faits.

B. Irradiation médicale^{5/}

22. L'irradiation est utilisée en médecine à des fins de diagnostic et pour le traitement de certaines maladies, en particulier le cancer. Les doses reçues par les patients au cours d'examens diagnostiques varient dans des limites comprises entre l'ordre de grandeur de la dose annuelle d'irradiation naturelle ($\sim 0,1$ rad) et cinquante fois cette dose. D'un autre côté, les traitements radiologiques peuvent nécessiter des doses plusieurs centaines de fois plus élevées que celles auxquelles les patients sont exposés lors d'un diagnostic; ils sont généralement étalés sur plusieurs semaines et ne visent qu'une partie seulement de l'organisme. Appliquée à des fins diagnostiques ou thérapeutiques, l'irradiation est surtout externe, mais un nombre croissant de procédés radiologiques impliquent maintenant l'administration de substances radioactives qui donnent lieu à une irradiation interne.

23. On calcule les doses moyennes auxquelles la population est exposée en tenant compte des doses dues à chaque type d'irradiation et du nombre de cas dans lesquels ces irradiations sont pratiquées. Pendant les dix années qui se sont écoulées depuis que le Comité a fait rapport sur cette question pour la dernière fois, la fréquence des examens radiologiques à des fins de diagnostic a augmenté de quelques points en pourcentage par an dans plusieurs pays techniquement avancés, au fur et à mesure que se créaient de nouvelles installations de soins médicaux et que les techniques et l'appareillage progressaient. Le but de la radiologie médicale étant d'apporter le maximum de bienfaits à la population desservie, une augmentation de la fréquence des examens sera sans doute pleinement justifiée, surtout dans les pays en voie de développement. Comme il est probable qu'une grande partie de la population mondiale n'a pas accès à des installations modernes de rayons X, leur nombre doit s'accroître fortement si l'on veut que les normes locales d'hygiène s'améliorent sensiblement.

24. La plupart des enquêtes sur l'irradiation médicale ont porté sur les doses aux cellules reproductrices. Comme ces doses, lorsqu'elles sont reçues après l'âge de procréation, ne contribuent pas aux effets génétiques sur les générations ultérieures, on pondère généralement les estimations des doses individuelles par l'espérance de fécondité, de manière à obtenir une évaluation de la "dose significative du point de vue génétique". Les estimations ainsi obtenues varient presque d'un facteur dix, de moins de un dixième à plus de la moitié de la dose annuelle due aux sources naturelles. L'irradiation thérapeutique étant le plus souvent pratiquée sur des patients qui n'auront probablement plus d'enfants, la dose significative du point de vue génétique est due en grande partie à l'irradiation à des fins de diagnostic, différents types d'examen contribuant dans une mesure différente à la dose moyenne. Il est très important de noter que certaines des doses les moins fortes ont été enregistrées dans les pays où les normes d'hygiène sont les plus élevées, ce qui donne à penser que lorsque les techniques et le matériel de radiologie modernes sont judicieusement employés (et en particulier lorsque la surface irradiée est strictement circonscrite) les meilleurs soins médicaux n'entraînent pas nécessairement de doses significatives du point de vue génétique de plus de un quinzième de la dose annuelle due aux sources naturelles.

^{5/} Pour plus de détails, voir annexe B.

25. Trois études seulement ont été effectuées jusqu'à présent sur les doses aux cellules hématopoïétiques dans la moelle osseuse. Il en ressort que les doses annuelles moyennes par habitant varient entre le tiers de la dose annuelle due aux sources naturelles et deux fois cette dose.

26. Les résultats des études faites dans divers pays concordent suffisamment pour qu'on puisse évaluer l'ordre de grandeur des doses moyennes, pour des examens particuliers, avec une précision de dix fois plus ou moins. Cependant, ces études présentent un intérêt supplémentaire car elles indiquent les cas où l'évolution des pratiques radiologiques ou le progrès technique pourraient se traduire par des réductions sensibles de la dose à laquelle est exposée la population. Elles contribuent aussi à identifier les groupes de patients qui, du fait qu'ils ont été exposés à de fortes doses, ont peut-être besoin d'être suivis de façon à déceler toute intensification éventuelle des effets tardifs. On peut pourtant se demander s'il faut continuer de mettre l'accent uniquement sur les études concernant les doses, et s'il ne faudrait pas insister davantage sur d'autres moyens d'administrer au patient la dose minimale compatible avec les nécessités de la radiologie aux fins du diagnostic.

27. Trois mesures fondamentales peuvent contribuer à des degrés divers à cette amélioration, compte tenu, dans chaque cas particulier, des fonds ainsi que du personnel qualifié disponibles, des programmes d'enseignement, des études sur la fréquence des examens et les doses reçues, et des mesures de contrôle administratif. Les programmes d'enseignement peuvent s'adresser a) aux radiographes, pour les aider dans leur travail quotidien, b) aux médecins qui prescrivent des examens radiographiques et c) au grand public, pour le rendre conscient de la nécessité de la radioprotection. L'organisation de programmes d'enseignement et l'institution d'un certain contrôle administratif sont peut-être plus importants que les études sur les doses, surtout lorsque les ressources sont limitées.

C. Irradiation professionnelle^{6/}

28. Certaines personnes peuvent être irradiées par suite de leur profession. Dans les pays industriels, leur nombre se situerait entre 1 et 2 habitants pour 1 000. Du fait que l'on respecte scrupuleusement les recommandations d'organes tels que la Commission internationale de protection radiologique, l'Organisation internationale du Travail, l'Organisation mondiale de la santé et l'Agence internationale de l'énergie atomique, la plupart des travailleurs sont exposés à de très faibles doses, et très peu d'entre eux sont exposés à une irradiation dépassant les doses maximales admissibles recommandées. La dose maximale annuelle admissible pour l'ensemble du corps est environ 50 fois celle due aux sources naturelles.

29. La dose d'irradiation moyenne reçue chaque année par les travailleurs dans la plupart des types d'activité sous rayonnement est de moins de six fois celle due aux sources naturelles, encore que certaines catégories (y compris les radiographes industriels et ceux qui emploient du radium à des fins médicales) aient tendance à

^{6/} Pour plus amples détails, voir annexe C.

être exposées à des doses plusieurs fois plus élevées. La part de l'irradiation professionnelle dans la dose significative du point de vue génétique de l'ensemble de la population a été estimée dans divers pays à moins de un centième de la dose annuelle due aux sources naturelles.

30. Les lésions provoquées par irradiation sont maintenant très rares, et lorsqu'elles se produisent, elles peuvent généralement être attribuées à la négligence. La plupart des lésions signalées concernent des radiographes industriels, des chercheurs utilisant des machines cristallographiques à rayons X et des travailleurs médicaux utilisant des fluoroscopes à main. Ces lésions peuvent être évitées si l'on observe la pratique recommandée. Les mineurs qui travaillent en galerie non seulement dans les mines d'uranium mais aussi dans certains autres types de mine, sont exposés aux effets des substances radioactives se trouvant dans l'air qu'ils respirent. De gros efforts sont faits pour améliorer les conditions de travail dans les mines, de manière à réduire cette forme d'irradiation qui, à des niveaux suffisamment élevés, est liée à l'accroissement des cas de cancer du poumon, comme cela a été démontré.

D. Sources diverses^{7/}

31. Le grand public est parfois exposé à une irradiation ionisante provenant d'un grand nombre de sources diverses. Il s'agit le plus souvent de produits de consommation contenant des substances radioactives et de tubes électroniques émettant des rayons X mais qui ne sont pas censés le faire. Il y a quelques années encore, des doses appréciables pouvaient être reçues de bracelets-montres à cadran lumineux et de téléviseurs en couleurs. Du fait des recommandations internationales et de la réglementation adoptée par divers pays, l'irradiation due à ces sources a rapidement diminué. Bien qu'aucune étude de la dose annuelle significative du point de vue génétique n'ait été publiée récemment, on estime actuellement que cette dose est de moins de 1 p. 100 de la dose annuelle due aux sources naturelles.

^{7/} Pour plus amples détails, voir annexe D.

CHAPITRE II

EFFETS GENETIQUES 8/

32. Le matériel génétique est composé de chromosomes (structures comprises dans les noyaux des cellules et visibles au microscope) et de gènes (unités fonctionnelles qui constituent les chromosomes et ne peuvent pas être distinguées au microscope). Ces structures sont présentes dans toutes les cellules du corps, mais seules celles qui se trouvent dans les cellules reproductrices sont transmises à l'ovule fécondé (le zygote) et donc d'une génération à une autre. Lorsque les cellules reproductrices sont irradiées, des changements peuvent se produire dans leurs gènes ou dans leurs chromosomes et être transmis ensuite à la descendance de la personne irradiée. Ces changements génétiques sont de différents types :

a) mutation génique, c'est-à-dire altérations dans la fonction des gènes individuels; b) anomalies chromosomiques résultant de la rupture et de la réorganisation des chromosomes, et c) changements dans le nombre de chromosomes. Certains de ces changements peuvent provoquer, chez les descendants, des anomalies dont certaines ne sont que légèrement nocives alors que d'autres conduisent à des désordres qui entraînent une invalidité grave ou la mort.

33. Comme on ne dispose pas de données suffisantes pour l'homme, les estimations des risques génétiques créés par l'irradiation des cellules reproductrices humaines sont fondées sur des résultats obtenus pour d'autres espèces, notamment la souris.

A. Mutation génique

34. Les deux stades les plus importants de la cellule reproductrice, du point de vue de l'évaluation du risque génétique, sont la spermatogonie chez le mâle et l'ovocyte chez la femelle. Sous une irradiation aiguë et élevée, le taux de mutation induite dans les spermatogonies se situe, estime-t-on, entre 100 et 5 000 mutations récessives par rad par million 9/. Le plus souvent, cependant, les populations humaines absorbent de faibles doses de rayonnement dans des conditions d'exposition aiguë (exposition brève à débit de dose élevé) ou sont exposées à une irradiation chronique (exposition prolongée à faible débit de dose). D'après des études expérimentales, on estime que dans ces conditions, le taux d'induction des mutations constitue environ un tiers du chiffre indiqué ci-dessus. Par conséquent, un taux d'induction de 30 à 1 500 mutations par rad par million semble être une approximation plus réaliste pour le mâle. Sous un rayonnement aigu et élevé, le risque d'une mutation chez la femme fécondée peu après l'irradiation sera environ deux fois plus grand que chez le mâle, alors qu'à faible dose, le risque tombera à environ un tiers et, avec une irradiation chronique, à environ un vingtième de ce qu'il faut prévoir après une exposition

8/ Pour plus amples détails, voir annexe E.

9/ Un rad $\sim$ 10 fois la dose annuelle due aux sources naturelles.

aiguë à forte dose. Si l'ovaire humain réagit à l'irradiation comme celui de la souris, ce qui n'est pas du tout certain, on peut s'attendre, si un intervalle suffisant sépare la conception de l'irradiation, à ce que la fréquence des mutations dans la descendance de la femme irradiée soit voisine de zéro.

35. Les mutations géniques dominantes se manifestent chez la première génération de la descendance d'une population irradiée. Certains faits donnent à penser que chez l'homme, environ 1 000 gènes peuvent appartenir à cette catégorie. Le taux d'induction estimé de mutations visibles dominantes chez le mâle humain exposé à de faibles doses de rayonnements est de deux par rad par million de descendants.

B. Anomalies chromosomiques

36. Les anomalies chromosomiques spontanées sont une source de souffrance considérable, car elles sont à l'origine d'un pourcentage élevé d'avortements spontanés, de malformations congénitales et de tares mentales et physiques. Par exemple, la présence d'un petit chromosome supplémentaire (numéro 21) est à l'origine du syndrome de Down, associé à un grave retard du développement mental. On a rassemblé récemment un grand nombre de données relatives à la souris et concernant un autre type d'anomalie, la translocation. Il s'agit d'échanges de segments entre chromosomes non homologues. On sait que chez l'homme, cela peut provoquer des anomalies semblables à celles qui sont liées à la présence de chromosomes supplémentaires, ou une mort prénatale rapide. Ces effets sont associés à la présence de translocations sous une forme non équilibrée, un des segments échangés étant perdu et l'autre restant en trop. Sous sa forme équilibrée, la translocation n'a pas habituellement d'effets nocifs pour le porteur, mais chez la moitié des descendants, elle se présentera probablement sous une forme non équilibrée.

37. Chez la souris mâle, la fréquence des translocations équilibrées dans la génération qui suit l'irradiation est plus ou moins proportionnelle à la dose pour une irradiation intense aux rayons X à des doses moyennes ou élevées, environ 30 translocations étant induites par million de descendants par rad. Il en est probablement de même chez la souris femelle, mais on dispose de peu de renseignements à cet égard. La fréquence prévue pour les translocations non équilibrées (qui causent la mort précoce ou des anomalies discernables) s'élève à 60 par million de zygotes par rad après l'irradiation des mâles et à 180 par million par rad après l'irradiation des femelles.

38. Si l'on veut déduire de ces chiffres le risque probable pour l'homme dans des conditions d'irradiation usuelle, il faut tenir compte de différents facteurs. Premièrement, les travaux sur les anomalies chromosomiques dans les globules sanguins donnent à penser que l'homme est deux fois plus sensible aux rayonnements que la souris à cet égard. Deuxièmement, l'irradiation chronique aux rayons gamma est trois fois moins effective que l'irradiation aiguë en ce qui concerne l'induction de translocations chez la souris mâle, alors qu'une exposition intense aux rayons X à faible dose (comme c'est le cas pour le diagnostic médical) produit probablement environ quatre fois moins d'effet par rad que des doses plus élevées. Les taux de fréquence probable de translocations équilibrées dans la descendance des mâles

irradiés s'élèvent donc à environ 7 par million par rad en cas d'irradiation chronique aux rayons gamma et à environ 15 par million par rad en cas d'irradiation aiguë à faible dose par des rayons X. Le taux de fréquence des translocations non équilibrées sera à peu près le double.

39. Les renseignements obtenus pour l'être humain et pour la souris donnent à penser que la plupart de ces zygotes en équilibre instable mourront à un stade si précoce de la gestation qu'il en résultera tout au plus l'absence de règles pendant un cycle menstruel. La proportion qui survit, donnant des nouveau-nés anormaux, est difficile à estimer à présent, mais elle est probablement inférieure à 6 p. 100. On peut donc s'attendre à un ou deux bébés anormaux par million par rad d'irradiation paternelle à de faibles doses ou à de faibles débits de dose. Il est encore impossible de faire des estimations analogues dignes de foi concernant l'irradiation maternelle, mais il est peu probable que le risque soit beaucoup plus élevé.

40. Les translocations ne constituent qu'une catégorie d'anomalie chromosomique. Celles qui se présentent spontanément (sous une forme équilibrée ou non) ne représentent qu'un tiers environ des anomalies observées chez les nouveau-nés. Des données relatives à la souris indiquent que très peu parmi les autres anomalies (par exemple gain ou perte de chromosome) sont susceptibles d'être transmises à la génération suivante après l'irradiation du mâle, puisque les cellules reproductrices porteuses seront éliminées avant d'arriver à maturité. Chez la femelle, cependant, quelques-unes sont transmises. Ainsi, ces données concernant la souris semblent indiquer que l'irradiation des femelles à faible débit de dose provoque la formation de huit zygotes supplémentaires de formule XO par million (c'est-à-dire avec un hétérochromosome manquant).

41. Dans la plupart de ces cas, il y aura mort avant la naissance; les survivants seront stériles et manifesteront certains autres symptômes (syndrome de Turner). D'autres chromosomes manqueront sans doute, mais ces cas seront probablement associés à une mort si précoce de l'embryon qu'ils ne présenteront pas de gros risques pour les enfants nés vivants. Les gains de chromosomes forment un élément appréciable du fardeau génétique de l'homme. Ils sont peut-être induits par l'irradiation, notamment de la femme, mais on n'en a pas encore la preuve concrète.

42. En résumé, les mutations géniques sont induites plus fréquemment que les anomalies chromosomiques; en outre, ces dernières sont éliminées après quelques générations, alors que les premières peuvent persister à travers de nombreuses générations, frappant ainsi un nombre plus élevé de personnes.

C. Estimation du dommage génétique par rapport à l'incidence spontanée des maladies génétiques

43. Les estimations ci-dessus permettent d'évaluer le risque d'induction de mutations, mais elles n'offrent pas nécessairement un bon moyen de déterminer le tort subi par la société. Le Comité pense qu'il peut également présenter une estimation du risque de mutation par unité de dose de rayonnement par rapport à l'indidence naturelle des troubles génétiques observés chez l'homme. Il l'a fait

pour la première fois dans son rapport de 1958, mais les méthodes utilisées ne lui paraissaient pas suffisamment sûres pour que l'on continue à les appliquer. Récemment, cependant, des expériences effectuées sur des souris ont donné à penser que chez les mâles, les cinq principaux indicateurs de mutation augmentent, après irradiation aiguë, d'environ 3 p. 100 par rad. Dans le cas d'une irradiation à faible dose ou chronique, l'augmentation sera d'environ 1 p. 100 par rad. Comme tous ces indicateurs de mutations induites manifestent à peu près le même taux d'augmentation par rapport au taux spontané, le Comité estime qu'il peut reprendre cette méthode d'évaluation avec plus de confiance, mais il reconnaît encore que de nombreuses réserves s'imposent.

44. On a estimé que 4 p. 100 environ de tous les enfants nés vivants souffrent de diverses maladies dues à des causes génétiques, dont environ 2 p. 100 semblent suivre de simples règles de transmission héréditaire. Les 2 p. 100 restants ont un mode de transmission plus complexe. Aux fins du calcul, on retiendra le chiffre de 3 p. 100. L'incidence naturelle des maladies héréditaires maintenues par transmission de mutations est donc estimée à 30 000 par million de naissance vivantes.

45. Les mutations causant cette incidence augmenteraient d'environ 300 par rad si les mâles d'une génération de parents étaient soumis à une irradiation chronique. Vingt de ces nouvelles mutations au maximum contribueraient à l'incidence des maladies héréditaires dans la descendance immédiate des mâles irradiés, alors que la contribution des autres serait échelonnée sur de nombreuses générations ultérieures.

EFFETS DES RAYONNEMENTS SUR LA REPONSE IMMUNITAIRE 10/

46. Le système immunologique constitue le principal mécanisme de défense de l'organisme contre les agents infectieux ou leurs produits. Il identifie ce qui est étranger à l'organisme et réagit en le détruisant ou en le neutralisant : il ne distingue pas entre "corps étranger utile" et "corps étranger nuisible". Il fait donc parfois obstacle à la réalisation d'objectifs souhaitables du point de vue médical, tels que l'acceptation de transplantations nécessaires de tissus ou d'organes. Les effets de la réaction immunologique sont parfois indésirables en soi (allergies, autres troubles immunopathologiques). Il arrive que le système se dérègle et réagit aux éléments de l'organisme lui-même, produisant la maladie par l'auto-immunisation.

47. Le système immunologique comporte de nombreux éléments, "utiles" et "nuisibles"; toute action visant à l'affecter par irradiation a donc une grande importance pour l'homme dans de nombreux cas. Par exemple, l'immunodépression due à l'irradiation diminue la capacité d'acquérir une résistance aux infections causées par des bactéries, des rickettsies et des parasites ou de neutraliser les toxines sécrétées par les bactéries, et constitue donc un effet indésirable du rayonnement. Mais l'immunodépression par un moyen ou par un autre est souhaitable, voire nécessaire, si l'on veut réaliser des transplantations d'organes. La suppression ou la réduction des allergies, de l'hypersensibilité, des désordres immunopathologiques et de la maladie auto-immune sont d'autres objectifs médicaux importants.

48. L'idée que le système immunologique s'est développé uniquement pour protéger l'organisme contre des agents étrangers a été mise en doute. Des études cliniques expérimentales sur l'animal et sur l'homme ont permis d'obtenir en nombre croissant des données indiquant qu'en cas de cancer, les cellules malignes sont reconnues comme étrangères par le système immunologique de l'intéressé, et que les lymphocytes de l'hôte peuvent être dirigés contre les cellules cancéreuses. L'existence de facteurs sériques qui réagissent avec les cellules cancéreuses a également été reconnue, et dans quelques cas ces facteurs peuvent protéger les cellules cancéreuses de l'action létale éventuelle des lymphocytes. La plupart des données récentes examinées dans ce domaine amènent à penser que la réponse immunitaire joue contre un cancer déjà existant, et dans quelques cas au moins, il est évident que l'immunodépression due aux rayonnements favorise une croissance plus rapide du cancer. Une question plus importante reste sans réponse : il s'agit de savoir si l'immunodépression peut être un facteur notable dans la radiocancérogénèse.

49. Des études détaillées ont été consacrées aux effets des rayonnements sur la réponse immunitaire chez les animaux d'expérience, mais on n'a fait qu'un petit nombre d'observations directes sur la radiosensibilité des cellules qui interviennent dans la réponse immunitaire chez l'homme. On dispose de données limitées obtenues à Hiroshima et Nagasaki ou relatives à des malades atteints de tumeurs malignes et soumis à un traitement radiothérapique poussé. Des études comparées portant sur de nombreuses espèces animales indiquent que la radiosensibilité d'un type donné de cellules à l'intérieur du système immunitaire est semblable pour la

10/ Pour plus amples détails, voir annexe F.

plupart des espèces étudiées. Les résultats d'un grand nombre de ces études pourront probablement être appliqués directement dans le cas de l'homme. Les techniques in vitro dont on dispose depuis peu pour analyser la réponse immunitaire vont peut-être permettre d'étudier directement les relations dose-effet en ayant recours à des lymphocytes humains et à d'autres types de cellules qui interviennent dans la réponse immunitaire chez l'homme. Toutefois, même s'il était possible d'établir qu'il existe chez l'homme et chez l'animal des radiosensibilités semblables pour les divers types de cellules, on ne pourrait pas encore en conclure à coup sûr que la réponse immunitaire va faire apparaître une relation dose-effet semblable chez les animaux et chez l'homme, étant donné que l'on a affaire à de nombreux autres facteurs dont il est impossible de tenir compte au seul niveau de la cellule. Ces facteurs comprennent notamment l'importance de l'exposition antérieure aux antigènes (la réponse secondaire dans son ensemble étant relativement plus radiorésistante in vivo), le type et la dose de l'antigène, et l'intervalle qui s'écoule entre l'action de l'antigène et l'irradiation.

50. Le système immunitaire semble être doté d'un grand facteur de sécurité, si bien qu'il peut résister à des lésions considérables et réparer des dommages. Bien qu'on ait observé des effets sur les lymphocytes humains en culture même pour des doses de 10 rads 11/, le dommage au système immunitaire qu'on a pu discerner, par exemple les changements dans la formation d'anticorps résultant d'une dose de l'ordre de quelques dizaines de rads pour le corps entier, ne semble guère être l'effet qui cause la plus grave inquiétude. Lorsque la dose est de l'ordre de 100 rads pour l'ensemble du corps, le dommage causé au système immunitaire entraîne une vulnérabilité accrue aux infections, et quand elle atteint et dépasse 200 rads, le dommage au système immunitaire est un effet très important de l'irradiation et se traduit par exemple par un risque accru de mortalité due aux infections.

11/ Un rad $\sim$ 10 fois la dose annuelle reçue de sources naturelles.

CHAPITRE IV

LA RADIOCANCEROGENESE 12/

51. Les expériences faites avec des animaux donnent à penser que pour ainsi dire tous les tissus des mammifères peuvent subir des transformations malignes s'ils sont exposés à des doses de rayonnement suffisamment élevées, mais le nombre de personnes exposées à des doses importantes est si réduit qu'on ne peut étudier le rapport entre la dose et l'incidence de la malignité chez l'homme que dans les tissus les plus sensibles aux rayonnements. Les survivants des bombardements atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki constituent toujours le groupe de sujets irradiés le plus important et le plus riche en enseignements. A ces groupes il convient d'ajouter plusieurs groupes de malades traités par radiothérapie, qui ont continué d'être examinés pendant plusieurs décennies, et quelques groupes de personnes exposées professionnellement aux rayonnements, notamment celles qui travaillent dans les mines souterraines d'uranium. Les enfants exposés in utero pendant des examens radiologiques de leur mère forment une catégorie spéciale.

52. La leucémie est la mieux connue des altérations malignes causées par les rayonnements. Tout indique que l'irradiation postnatale à des débits de dose élevés augmente l'incidence de certains types de leucémie en proportion directe à la dose, si celle-ci se situe entre 50 et 500 rads 13/. Avec des doses plus élevées, la fréquence de la leucémie s'accroît moins rapidement, probablement parce qu'une partie de plus en plus large des cellules qui, sans cela, deviendraient leucémiques, sont détruites par les rayonnements. Les leucémies dues aux rayonnements surviennent le plus souvent quelques années après l'irradiation, et après 25 ans la fréquence retombe au niveau attendu en l'absence de toute irradiation. A ce moment, il se sera produit entre 20 et 40 cas de leucémies par rad 14/ par million de personnes exposées.

53. Les cancers du poumon semblent avoir été provoqués à Hiroshima par des doses externes de rayons gamma estimées très approximativement comme équivalant à environ 30 rads, qui ont été reçues sous un débit de dose élevé; ils paraissent avoir augmenté en fonction de la dose jusqu'à une dose d'environ 100 rads. L'incidence plus élevée de ce type de cancer parmi les personnes irradiées a été révélée aussi par d'autres enquêtes, mais on ne sait pas encore si cette augmentation, qui commence une quinzaine d'années après l'irradiation, se maintient ou si elle est destinée à la longue à fléchir. Si on les accepte sans restriction, cependant, les données indiquent qu'il se développe entre 10 (à 250 rad) et 40 (à 30 rad) cas de cancer par rad par million de personnes exposées pendant les premiers 25 ans qui suivent l'exposition à des rayonnements gamma à fort débit de dose.

12/ Pour plus amples détails, voir annexes G et H.

13/ 1 rad $\sim$ 10 fois la dose annuelle reçue de sources naturelles.

14/ Cette estimation vaut pour des doses de rayons gamma se situant entre 60 et 400 rads.

54. On dispose également de renseignements concernant le cancer de la thyroïde et le cancer du sein. Les personnes affectées par ces cancers survivent longtemps, et ce n'est donc qu'à très long terme que les données sur la mortalité reflètent l'incidence de ces tumeurs. Ainsi, la mortalité due au cancer du sein à Hiroshima donne à penser que le risque s'élève entre six et vingt cas par million par rad dans les 25 années qui suivent l'irradiation pour les femmes exposées à des doses comprises entre 60 et 400 rads, mais cela est probablement une sous-estimation du taux de fréquence total. Pour le cancer de la thyroïde, on obtient un chiffre moyen d'environ 40 cas par million par rad pour des doses du même ordre, pendant la même période de temps, à partir de données plus sûres relatives à la morbidité, mais étant donné le petit nombre de cas observés, cette estimation est très aléatoire. Pour ce qui est des tumeurs du poumon, on ne dispose pas de renseignements permettant de déterminer si et quand l'incidence chez les personnes irradiées cesse d'être plus élevée.

55. De nombreuses enquêtes portant sur des personnes ayant subi des irradiations externes confirment une augmentation pour tous les autres types de cancer pris ensemble, mais il n'est pas encore possible d'identifier séparément les types de cancer dont l'incidence s'accroît. Parmi les survivants des bombardements atomiques d'Hiroshima, on observe, à mesure que la dose augmente, une tendance très nette à une mortalité accrue due à des altérations malignes autres que la leucémie, le cancer du poumon et le cancer du sein, mais notre ignorance des doses absorbées par les tissus affectés rend difficiles les estimations quantitatives. On ne peut avancer qu'une estimation provisoire de 40 cas de cancers (autres que les leucémies) du sein et du poumon) par rad et par million de personnes exposées pendant les 25 années qui suivent l'irradiation, fondée sur des hypothèses approximatives relatives aux doses absorbées par les tissus. Là encore, on ignore combien de cas supplémentaires peuvent se produire après 25 ans.

56. Il faut bien se rendre compte que ces estimations sont fondées sur des observations faites après que des doses de plusieurs dizaines de rads au moins aient été reçues sous des débits de dose élevés. De tels débits de dose, et, parfois, de telles doses sont de l'ordre de ceux qui peuvent être reçus au cours de certains procédés radiologiques employés pour des raisons médicales, mais sont nettement supérieurs à ceux auxquels nous exposent les sources naturelles et artificielles présentes dans l'environnement. On ne sait guère si des doses qui sont de l'ordre de celles que nous recevons continuellement de sources naturelles ont des effets semblables. Des expériences effectuées avec des animaux semblent indiquer que l'incidence de tumeurs par unité de dose devrait être moindre à des doses très faibles, à moins que le tissu exposé ne soit beaucoup plus sensible aux altérations malignes induites par les rayonnements que ce n'est le cas chez l'homme. Ces expériences montrent également que l'irradiation continue ou fractionnée est en général moins cancérigène que l'exposition de courte durée à une dose unique. Il est donc probable que les chiffres donnés dans les paragraphes précédents exagèrent le risque encouru à des doses et des débits de dose qui sont de l'ordre de ceux que nous recevons des sources ambiantes.

57. Peu d'études ont été consacrées à des personnes exposées à des doses internes importantes. Elles portent sur des travailleurs et des malades contaminés par des isotopes de radium et sur des mineurs exposés au radon. Le radium 226, une fois

absorbé, se dépose dans les os où il irradie pendant des décennies d'une façon continue mais sous un débit décroissant les cellules ostéogènes et provoque des tumeurs des os. Le radium 224 provoque des effets analogues après une irradiation plus brève.

58. Les mineurs exposés à une forte concentration de radon et de ses descendants radioactifs manifestent une forte incidence de cancers du poumon. Cette incidence semble s'accroître à mesure que le niveau et la durée de l'exposition augmentent. L'importance de l'irradiation pour laquelle on a signalé une incidence accrue correspond à des doses de rayons alpha de plusieurs centaines de rads au moins. Cependant, la dosimétrie est difficile et le rôle d'autres facteurs cancérrogènes tel que l'usage habituel du tabac, n'a pas encore été entièrement déterminé.

59. On a consacré beaucoup de recherches à la question de l'irradiation prénatale. Plusieurs grandes enquêtes portant sur des enfants qui, pour des raisons médicales, ont été exposés avant la naissance à des rayonnements et qui ont sans doute ainsi absorbé des doses de quelques rads au plus à fort débit de dose indiquent que l'irradiation prénatale est associée à une augmentation sensible du risque d'altération maligne dans les 10 premières années de la vie. On ne peut pas encore savoir si le risque accru d'altération maligne, chez les enfants irradiés pour des raisons médicales, est dû au rayonnement ou à la maladie qui a rendu nécessaire l'irradiation.

HOW TO OBTAIN UNITED NATIONS PUBLICATIONS

United Nations publications may be obtained from bookstores and distributors throughout the world. Consult your bookstore or write to: United Nations, Sales Section, New York or Geneva.

COMMENT SE PROCURER LES PUBLICATIONS DES NATIONS UNIES

Les publications des Nations Unies sont en vente dans les librairies et les agences dépositaires du monde entier. Informez-vous auprès de votre librairie ou adressez-vous à: Nations Unies, Section des ventes, New York ou Genève.

КАК ПОЛУЧИТЬ ИЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Издания Организации Объединенных Наций можно купить в книжных магазинах и агентствах во всех районах мира. Наводите справки об изданиях в вашем книжном магазине или пишите по адресу: Организация Объединенных Наций. Секция по продаже изданий, Нью-Йорк или Женева.

COMO CONSEGUIR PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS

Las publicaciones de las Naciones Unidas están en venta en librerías y en distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o diríjase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.
