



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

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

DOCUMENTS OFFICIELS : TRENTE-DEUXIÈME SESSION

SUPPLÉMENT N° 40 (A/32/40)

NATIONS UNIES



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

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

DOCUMENTS OFFICIELS : TRENTE-DEUXIÈME SESSION

SUPPLÉMENT N° 40 (A/32/40)

NATIONS UNIES

New York, 1977

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 MATIÈRES

	<u>Paragraphes</u>	<u>Pages</u>
I. INTRODUCTION	1 - 8	1
II. EFFETS DES RAYONNEMENTS	9 - 51	3
A. Généralités	9 - 17	3
B. Effets cancérogènes des rayonnements	18 - 28	5
C. Effets des rayonnements sur le développement prénatal	29 - 39	8
D. Effets génétiques des rayonnements	40 - 51	11
III. SOURCES DE RAYONNEMENTS ET IRRADIATIONS	52 - 106	14
A. Généralités	52 - 56	14
1. Evaluations par individus	54	14
2. Evaluations par sources	55 - 56	14
B. Sources d'irradiation chez l'homme	57 - 106	15
1. Exposition normale aux sources naturelles de rayonnement	60 - 67	16
2. Accroissement technologique de l'irra- diation due aux sources naturelles	68 - 74	18
3. Produits de consommation émetteurs de rayonnements	75 - 79	19
4. Production d'énergie par fission nucléaire	80 - 89	20
5. Explosions nucléaires	90 - 94	24
6. Applications médicales des rayonnements ..	95 - 101	25
7. Résumé des doses engagées globales dues aux diverses sources de rayonnements	102 - 106	27

APPENDICES

I. Liste des spécialistes, membres de délégations nationales		31
II. Liste des membres du personnel spécialisé et des consultants qui ont collaboré avec le Comité pour l'élaboration du rapport		33
III. Liste des rapports reçus par le Comité		34

I. INTRODUCTION

1. Le présent rapport du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants 1/ a été établi de la vingt-troisième à la vingt-sixième session du Comité. Les fonctions de président, de vice-président et de rapporteur ont été remplies respectivement, à la vingt-troisième session, par M. L. R. Caldas (Brésil), M. F. H. Sobels (Belgique) et M. C. B. Guzman Acevedo (Pérou), aux vingt-quatrième et vingt-cinquième sessions, par M. F. H. Sobels (Belgique), M. H. Klimek (Tchécoslovaquie) et M. Z. Jaworowski (Pologne), et, à la vingt-sixième session, par H. M. Klimek (Tchécoslovaquie), M. F. E. Stieve (République fédérale d'Allemagne) et M. K. Sundaram (Inde).

2. Le présent rapport général, comme les précédents 2/, a été établi essentiellement par des groupes de spécialistes, qui ont examiné les documents de travail établis par le Secrétariat conformément aux directives du Comité. On trouvera à l'appendice I ci-après la liste des spécialistes qui ont participé, en qualité de membres de délégations nationales, à une ou plusieurs des sessions tenues par le Comité durant l'établissement du présent rapport.

3. Le Comité a été aidé par une petite équipe scientifique et par des consultants désignés par le Secrétaire général, dont on trouvera la liste à l'appendice II. Le Comité, tout en assumant l'entière responsabilité du présent rapport, tient à remercier pour l'aide que lui ont apportée les personnalités scientifiques qui ont été chargées de procéder à l'examen et à l'analyse préliminaires des renseignements techniques reçus par le Comité ou publiés dans les documents scientifiques.

1/ Le mandat du Comité scientifique, qui a été créé par l'Assemblée générale à sa dixième session, en 1955, est énoncé dans la résolution 913 (X). Il se composait initialement 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. Par sa résolution 3154 C (XXVIII), l'Assemblée générale a décidé d'augmenter de cinq au maximum le nombre des membres du Comité, et les Etats Membres suivants ont été nommés membres du Comité par le Président de l'Assemblée, en consultation avec les présidents des groupes régionaux : Allemagne (République fédérale d'), Indonésie, Pérou, Pologne et Soudan.

2/ Pour les précédents rapports généraux 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 Corr.1); et ibid., vingt-quatrième session, Supplément No 13 (A/7613 et Corr.1). Ces documents seront désignés respectivement par l'expression rapport de 1958, de 1962, de 1964, de 1966 et de 1969. Voir également "Rayonnements ionisants : Niveaux et effets". Rapport du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants à l'Assemblée générale et annexes I et II (Publication des Nations Unies, numéro de vente : F. 72.IX.17 et 18). Ce document sera désigné par l'expression rapport de 1972. Le rapport, sans les appendices ni les annexes, a été publié dans la série des Documents officiels de l'Assemblée générale, vingt-septième session, Supplément No 25 (A/8725 et Corr.1).

4. On trouvera à l'appendice III la liste des rapports techniques que le Comité a reçus entre le 13 avril 1972 et le 22 avril 1977 des Etats Membres de l'Organisation des Nations Unies ou membres des institutions spécialisées ou de l'Agence internationale de l'énergie atomique, et de ceux qu'il a reçus de ces institutions elles-mêmes. Les rapports reçus avant le 13 avril 1972 sont mentionnés dans les précédents rapports du Comité à l'Assemblée générale. Les renseignements communiqués officiellement au Comité ont été complétés par des données tirées des publications scientifiques ou de communications personnelles inédites. Le Comité tient à exprimer sa gratitude pour les renseignements qui lui ont été envoyés à sa demande, sur les doses dues à diverses sources de rayonnements.

5. Des représentants de l'AIEA, de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), 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 vingt-troisième, vingt-quatrième, vingt-cinquième et vingt-sixième sessions du Comité.

6. Le Comité a établi des plans pour maintenir à l'étude et pour évaluer les niveaux de rayonnement auxquels la population mondiale est exposée ou pourrait être exposée à l'avenir, et pour améliorer l'évaluation du risque que fait courir l'exposition aux rayonnements. Ces activités pouvant être utiles au PNUE, le Comité a institué une coopération active avec le Programme pour l'établissement de documents de critères concernant certains radio-éléments.

7. Le présent rapport général comprend, comme les précédents, une partie principale exposant les conclusions du Comité, et des annexes scientifiques où sont examinées en détail les données scientifiques disponibles et les méthodes d'analyse sur lesquelles reposent ces conclusions. Comme le rapport de 1972, seule la partie principale est soumise à l'Assemblée générale. Toutefois, le rapport complet, avec les annexes scientifiques, fait l'objet d'une publication distincte 3/, et le Comité signale à l'Assemblée que cette présentation répond uniquement à un souci de commodité et que les données scientifiques contenues dans les annexes revêtent la plus grande importance.

8. On trouvera dans le présent rapport un résumé des effets biologiques des rayonnements (par. 9 à 51) et un exposé sur les irradiations dues à diverses sources et pratiques (par. 52 à 106), ainsi que quelques conclusions générales fondées sur les informations ainsi présentées.

3/ Publication des Nations Unies, numéro de vente F.77.IX.1.

II. EFFETS DES RAYONNEMENTS

A. Généralités

9. Au cours des cinq années qui se sont écoulées depuis la publication du dernier rapport général du Comité ^{4/}, beaucoup de données nouvelles ont été recueillies non seulement sur la fréquence de certains effets nocifs des rayonnements ionisants, mais aussi sur les doses reçues dans divers cas. Ces données permettent de déterminer avec un peu plus de sûreté la nature et la fréquence des effets nocifs qui peuvent résulter de certaines activités par suite de l'irradiation à laquelle elles exposent les individus.

10. Le présent rapport traite donc de façon assez détaillée des principaux effets des rayonnements chez l'homme, et en particulier des effets que peuvent causer de faibles doses d'irradiation et qui se manifestent ou continuent de se manifester longtemps après l'exposition chez la personne irradiée (effets dits "somatiques") ou chez ses descendants (effets génétiques). Pour chacune de ces deux catégories d'effets, le Comité a analysé en détail les données qui permettent d'évaluer la fréquence avec laquelle de tels effets se manifestent chez l'homme, par unité de dose d'irradiation. Les effets d'une irradiation massive de l'ensemble du corps ne sont pas examinés dans le présent rapport.

11. Tant pour les effets somatiques que pour les effets génétiques, il importe d'évaluer la fréquence avec laquelle des effets nocifs peuvent être induits par les faibles doses d'irradiation auxquelles exposent les retombées des explosions nucléaires, les produits de consommation contenant des substances radioactives, les nombreuses applications médicales des rayonnements, le rayonnement ambiant ou l'irradiation professionnelle résultant de la production d'énergie électro-nucléaire, ainsi que les sources naturelles de radio-activité et les activités humaines qui entraînent des expositions accrues à ces sources, comme on le verra plus loin. Le plus souvent, toutefois, les données disponibles concernant la fréquence des effets nocifs des rayonnements correspondent à des expositions à des doses d'irradiation nettement plus fortes.

12. On a donc accordé une attention particulière aux problèmes posés par la détermination de la fréquence des effets nocifs des doses faibles à partir des effets effectivement observés des irradiations à doses élevées et aux principes que l'on peut dégager à cette fin des recherches effectuées sur les mécanismes des effets nocifs des rayonnements. Des études sur les effets des rayonnements chez les animaux ou, dans certains cas, sur les plantes sont utiles dans ce sens et des progrès considérables ont déjà été faits dans l'analyse des mécanismes du dommage radio-induit et de sa réparation dans les systèmes biologiques.

13. D'une façon générale, toutefois, la seule base sûre pour évaluer quantitativement la fréquence avec laquelle les effets néfastes en question peuvent être produits chez l'homme est constituée par les études sur les populations humaines qui ont été exposées à des doses connues de rayonnements et chez lesquelles les effets de cette irradiation ont été étudiés de manière appropriée.

^{4/} Rapport de 1972 du Comité.

14. Cependant, les données épidémiologiques relatives à l'homme ne suffisent pas, du moins à elles seules, à évaluer les risques d'anomalies du développement associés à une irradiation prénatale ou les risques d'anomalies génétiques. Il faut donc recourir aux résultats des expériences sur les animaux pour évaluer la fréquence de ces diverses formes d'anomalies. Dans le cas des effets somatiques apparaissant chez les personnes irradiées, on dispose désormais des données nécessaires pour évaluer les risques que fait courir l'exposition aux rayonnements, qu'il s'agisse de l'ensemble du corps ou d'organes irradiés séparément. Dans ce cas, les estimations du risque correspondant revêtent une importance considérable, même si elles ne sont pas très précises et si elles correspondent à des niveaux de doses plus élevés que ceux auxquels expose l'irradiation professionnelle ou le rayonnement ambiant. Pour ces quantifications, les études épidémiologiques sont plus utiles que les estimations des fréquences des affections malignes induites expérimentalement chez les animaux, car la fréquence d'un type d'effet somatique déterminé peut varier suivant les espèces animales et, par conséquent, ne donner que des indications limitées quant à la fréquence du même effet chez l'homme.

15. En outre, les études épidémiologiques sur le cancer humain radio-induit portent généralement sur des populations beaucoup plus nombreuses et permettent une détermination plus précise du type d'effet produit que la plupart des études expérimentales sur l'animal. On peut donc, en principe, évaluer les effets des doses faibles par des études sur les populations humaines, pourvu qu'un certain nombre de conditions soient réunies. Il faut d'abord mesurer exactement la fréquence totale des effets nocifs, au besoin en suivant les personnes irradiées pendant plusieurs décennies dans le cas de la plupart des effets somatiques, et comparer le résultat obtenu avec la fréquence des mêmes effets dans une population analogue non irradiée. Il faut ensuite connaître l'irradiation initiale, et il faut que sa nature et sa répartition dans l'organisme correspondent au risque que l'on cherche à évaluer. Enfin, il faut que la fréquence de l'effet observé soit suffisamment élevée, par rapport à sa fréquence dans la population témoin, pour permettre une estimation statistiquement valable de l'effet du rayonnement. Comme on le verra plus loin, la plupart de ces conditions font défaut dans beaucoup d'études sur la fréquence des affections malignes radio-induites chez l'homme.

16. Dans le cas de la plupart des types de dommages produits par les rayonnements, la fréquence d'induction est fonction de la dose d'irradiation absorbée dans les tissus organiques considérés. Tous les types de rayonnements "ionisants" étudiés dans le présent rapport causent des dommages par ionisation des constituants chimiques des tissus organiques, et par transmission d'énergie dans d'importantes structures moléculaires de ces tissus, en particulier l'acide désoxyribonucléique (ADN). On peut donc, dans une large mesure, établir une relation entre l'effet nocif probable d'une dose d'irradiation déterminée et l'énergie transmise de cette façon par unité de masse de tissu. L'unité de dose absorbée de rayonnement ionisant est le "rad", qui correspond à une énergie absorbée de 0,01 joule par kilogramme de tissu considéré.

17. Les mêmes relations entre la fréquence probable d'un type donné d'effet et la dose absorbée dans un tissu déterminé s'appliquent à la plupart des types de rayonnement étudiés dans le présent rapport (rayons X, particules bêta ou gamma, etc.), que l'énergie transmise aux tissus provienne de sources extérieures

à l'organisme ou de substances radioactives fixées dans les tissus organiques. Toutefois, pour certains types de rayonnement, par exemple les neutrons et les particules alpha émises par certaines substances radioactives, la fréquence probable des effets pour une dose absorbée déterminée est supérieure (de 5 à 20 fois dans de nombreux cas) à la fréquence qui correspondrait à une dose égale due à des formes d'irradiation plus courantes. Cela semble venir de ce que cette dose est absorbée le long de courtes trajectoires dans le tissu, ce qui produit une ionisation dense. Lorsqu'il sera question, dans le présent rapport, de la fréquence estimative par rad des effets dus aux neutrons et aux rayons alpha, on se rappellera donc que les fréquences correspondantes pour d'autres formes de rayonnement sont probablement inférieures d'un facteur assez élevé. La valeur de ce facteur, c'est-à-dire de l'efficacité biologique relative (ou EBR) des neutrons ou des rayons alpha dans des conditions d'irradiation déterminées, est étudiée dans le présent rapport.

B. Effets cancérogènes des rayonnements 5/

18. Il s'est avéré que le principal effet somatique tardif des doses faibles de rayonnement est l'induction occasionnelle d'affections malignes, comme le montre la fréquence accrue de ces affections parmi les populations irradiées. En effet, les études complètes et détaillées sur les survivants des explosions des bombes atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki, études qui se poursuivent depuis plus de trente ans, n'ont pas encore fait apparaître, chez les personnes irradiées, d'excédent du taux de mortalité par des maladies autres que les affections malignes. Le Comité a donc examiné tous les renseignements relatifs aux effets cancérogènes des rayonnements sur lesquels on peut se fonder pour procéder à des évaluations valables. Le terme "cancérogène" s'applique ici à l'induction de toutes les formes d'affection maligne, qu'il s'agisse de leucémies ou de tumeurs solides ou focales prenant naissance dans différents organes ou tissus.

19. Aux fins de la présente étude, on a attaché la plus haute importance à l'analyse des résultats des expériences sur les animaux, sur les types de tumeurs induites par l'irradiation chez différentes espèces et sur la façon dont la fréquence des tumeurs varie avec la dose absorbée dans l'organe où siège la tumeur. Il existe des études sur les effets de l'irradiation chez l'homme où l'on peut trouver des indications sur les variations de la fréquence des cancers avec la dose absorbée. Toutefois, les données épidémiologiques relatives à l'homme sont généralement trop limitées en ce qui concerne, soit les intervalles de doses d'irradiation, soit la précision des estimations relatives à l'induction de cancers à chaque dose, pour qu'on puisse déterminer clairement la forme mathématique de cette relation dose-effet. Les études sur les animaux sont donc très utiles, car elles montrent comment la fréquence des cancers radio-induits peut varier avec la dose, dans des conditions qui permettent d'évaluer exactement cette fréquence à différents niveaux de dose bien déterminés, et où le type et les conditions d'irradiation ainsi que le nombre et la souche des animaux irradiés sont connus et contrôlés avec précision. Dans ces conditions, on constate généralement que les tumeurs deviennent décelables passé un délai variable - qui peut atteindre plusieurs années - après l'exposition, et que le nombre total de tumeurs qui apparaissent finalement varie avec la dose reçue par chaque groupe d'animaux. Dans certains cas, la fréquence des tumeurs augmente avec la dose jusqu'à ce que celle-ci atteigne quelques centaines ou quelques milliers de rads, puis elle cesse d'augmenter, et

5/ Cette question est traitée en détail dans les annexes G (Radiocancérogénèse chez l'homme) et I (Radiocancérogénèse expérimentale).

souvent même elle diminue aux doses plus élevées. Pour les doses nettement inférieures à celle qui correspond à la fréquence maximum, et au niveau de quelques dizaines de rads, la fréquence est parfois directement proportionnelle à la dose, mais, le plus souvent, elle est plus élevée par rad aux fortes doses qu'aux doses faibles.

20. Les expériences sur les animaux ont aussi permis d'établir que les rayons alpha ou les neutrons ont un effet cancérigène par rad supérieur aux autres types de rayonnement, et que la forme de la relation dose-effet peut être différente pour ces deux catégories de rayonnements. Dans le cas des rayons alpha et des neutrons, qui provoquent des ionisations fréquentes le long d'une trajectoire courte dans les tissus, la fréquence des cancers induits paraît souvent plus strictement proportionnelle à la dose que dans le cas des autres types de rayonnement. Les études sur les animaux ont permis également de définir le rôle joué par le débit auquel une dose déterminée est administrée, ou par la façon dont elle l'est (irradiation fractionnée ou continue).

21. Souvent, en outre, il s'est avéré plus facile d'étudier systématiquement l'influence de certaines variables biologiques sur la radiocancérogenèse chez l'animal que dans les populations humaines irradiées. Ainsi, le sexe, l'âge de l'animal au moment de l'irradiation, les effets concomitants d'autres agents cancérigènes ou les caractères génétiques d'une souche consanguine d'animaux peuvent influencer beaucoup sur la fréquence des tumeurs induites à une dose déterminée, et les méthodes expérimentales permettent d'étudier ces variables de façon satisfaisante.

22. Il ne suffit pas, pour calculer les risques, d'évaluer la fréquence totale des tumeurs malignes dues à une irradiation globale à une dose déterminée. Dans de nombreux cas, en effet, les organes ou groupes d'organes sont irradiés de façon sélective, par exemple à la suite d'une irradiation médicale ou d'une inhalation ou ingestion d'un radioélément qui se concentre de préférence dans certains tissus ou organes. Il faut donc évaluer également la fréquence des modifications malignes induites dans les divers organes et, si possible, étudier et déterminer l'influence de l'âge, du sexe et d'autres facteurs biologiques sur la sensibilité de ces organes.

23. Les diverses études poursuivies pendant de nombreuses années sur la fréquence excédentaire de divers types de cancers dans certaines populations humaines irradiées, par rapport à la fréquence observée dans des populations non irradiées, présentent donc un grand intérêt. La plus importante de ces études porte sur un groupe nombreux de survivants des bombes atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki, que l'on a suivis attentivement afin de déterminer à la fois l'incidence des tumeurs malignes et la mortalité due à l'ensemble des maladies, y compris différents types d'affections malignes. On peut faire des comparaisons entre les individus qui ont reçu différentes doses et ceux qui ont été exposés à une irradiation négligeable. Du point de vue de l'évaluation du risque, cette étude présente le gros avantage d'être fondée sur l'irradiation globale à peu près uniforme d'un grand nombre de personnes de tous âges, suivies attentivement depuis bientôt trente ans. A Hiroshima, l'irradiation était due pour une bonne part à des neutrons, dont il est difficile de déterminer l'efficacité biologique par rapport à d'autres rayonnements; cependant, on peut désormais, grâce à ces études, évaluer approximativement le risque de radiocancérogenèse pour de nombreux organes. On peut aussi tirer certaines indications quant au risque pour un organe déterminé,

à savoir la thyroïde, de l'incidence des cancers de cette glande dans la population de deux îles du Pacifique qui avait été exposée à une irradiation par de l'iode radioactif causée par les retombées d'un essai d'arme nucléaire en 1954. Concernant le cancer du poumon, l'accroissement de la mortalité due à cette maladie chez les mineurs d'uranium de différents pays, qui inhalent des gaz radioactifs durant leur travail, est une source d'information importante. Dans ce cas, toutefois, l'exposition à prendre en considération est due aux rayons alpha, dont on ne connaît pas avec certitude l'efficacité biologique relative.

24. Dans d'autres cas, on peut évaluer le risque de cancérogenèse en se fondant sur des études relatives à des groupes de malades irradiés, soit au cours d'examens diagnostiques répétés, soit à la suite d'un traitement radiothérapique. Parmi les premiers, les malades atteints de tuberculose pulmonaire, auxquels on injecte de l'air dans les cavités pleurales pour maintenir le poumon en position affaissée, reçoivent parfois des doses élevées à la poitrine au cours des examens nécessaires pour contrôler l'affaissement du poumon; chez les femmes, on a observé un excédent de cancers du sein par rapport à la normale. Une augmentation du nombre des cancers d'organes irradiés localement a été constatée à l'occasion de plusieurs études sur l'irradiation de la colonne vertébrale par rayons X pour spondylarthrite ankylosante, du bassin pour des affections de l'utérus, de la poitrine pour des affections des glandes mammaires ou de la tête et de la région du cou pour teigne du cuir chevelu, pour des affections du pharynx ou pour hypertrophie supposée du thymus. Dans certains cas, où l'on avait administré des préparations à base de radium pour traiter des affections de la colonne vertébrale ou d'autres maladies, ou des composés du thorium comme substances de contraste, on a observé une augmentation de la fréquence des affections malignes dans les tissus irradiés. On a également remarqué que l'irradiation du fœtus par rayons X, au cours des examens diagnostiques du bassin de la mère pendant la grossesse, entraînait une augmentation de la fréquence de certaines affections malignes au cours de l'enfance.

25. En se fondant sur ces études approfondies et variées, on a pu évaluer approximativement le risque de radiocancérogenèse pour de nombreux tissus organiques importants, et établir que pour d'autres le risque n'était pas élevé. Différentes études fournissent des estimations assez concordantes pour certains organes ou tissus tels que la thyroïde, le sein chez la femme, le poumon, l'os et la moelle osseuse (en ce qui concerne l'induction de la leucémie). Pour d'autres tissus, ou organes, notamment le cerveau, les glandes salivaires, l'estomac et d'autres parties des voies gastro-intestinales, la vessie, les tissus lymphoïdes et probablement le foie, les estimations sont moins sûres, souvent parce que le risque semble plus faible et, par conséquent, plus difficile à déceler ou à évaluer au moyen des études sur l'homme. Aucun cas de leucémie chronique lymphoïde n'a été signalé, et, pour ce qui est des tumeurs malignes du muscle, du tissu adipeux, de la prostate et de nombreux autres tissus ou organes, le risque doit être très faible, car on n'a pas trouvé de façon concluante que l'irradiation exposait à un tel risque.

26. D'une façon générale, il semble que le taux d'induction du cancer soit relativement élevé pour le sein chez la femme et pour la thyroïde, encore que le taux de mortalité par cancer thyroïdien induit soit faible. Dans le cas des cancers du poumon et de la leucémie, les taux d'induction sont un peu plus faibles, et ils paraissent encore inférieurs dans le cas des autres organes pour lesquels on dispose d'estimations.

27. Cependant, pour évaluer les risques somatiques dus aux rayonnements, il importe de déterminer le risque total pour l'ensemble des affections dues à une irradiation globale à faible dose, et en particulier pour les affections léthales. Or, on ne peut évaluer ce risque total en additionnant les risques correspondants pour tous les organes, car, dans certains cas, et notamment lorsque ces risques sont faibles, on ne les connaît pas avec précision. Selon différentes sources, toutefois, le risque total pour l'ensemble des affections malignes léthales serait, pour les deux sexes et pour tous les âges, environ cinq fois supérieur en moyenne au risque correspondant pour la seule leucémie, celui-ci étant d'environ $2 \cdot 10^{-5}$ rad⁻¹ (c'est-à-dire 2 cas par centaine de milliers de personnes et par rad de dose absorbée) aux doses relativement faibles pour la plupart des formes d'irradiation (par exemple par les rayons X et gamma, mais non par les neutrons et les rayons alpha) (voir par. 15). On admet donc que le risque moyen d'induction d'une affection maligne léthale est de l'ordre de 10^{-4} rad⁻¹, et que le risque d'induction d'une affection maligne non léthale est probablement du même ordre. Les risques estimatifs pour les divers organes et tissus concordent, semble-t-il, avec ces données globales, et l'on peut donc penser qu'aucun organe à taux d'induction élevé n'a été omis dans ces estimations. Il faut cependant remarquer que ces estimations ont été calculées principalement à partir de taux d'induction consécutifs à des doses absorbées dépassant 100 rads et que, s'il y a peu de chances pour que le taux consécutif à des doses de quelques rads soit supérieur à cette valeur, il y en a beaucoup plus pour qu'il lui soit inférieur. Pour les doses faibles de l'ordre de celles provoquées annuellement par les sources naturelles de rayonnement, en particulier, on ne dispose pas d'informations directes quant au niveau d'induction d'affections malignes. Dans les cas où les tissus organiques sont soumis à des "irradiations internes" provenant de radioéléments situés dans le corps, on ne connaît pas d'exemple de taux d'induction de tumeurs s'écartant des taux causés par les irradiations externes, compte tenu de la dose absorbée aux tissus résultant de ces irradiations internes.

28. De nombreux aspects de cette question doivent être étudiés plus à fond, en particulier les variations du risque avec l'âge et le sexe des personnes irradiées dans le cas de nombreux organes, ainsi que la relation entre le risque aux doses faibles et aux doses élevées. Il semble toutefois que, pour les doses supérieures à 100 rads, les estimations de différentes provenances concernant le risque total d'induction d'affections malignes et les risques moyens pour de nombreux organes concordent suffisamment pour déterminer les mesures de radioprotection à prendre dans les activités qui exposent à une certaine irradiation, et pour lesquelles les doses reçues sont évaluées plus loin dans le présent rapport.

C. Effets des rayonnements sur le développement prénatal 6/

29. Les expériences sur les animaux ont permis de constater à plusieurs reprises que l'irradiation de l'embryon ou du fœtus peut provoquer des anomalies plus ou moins graves. Certaines de ces anomalies peuvent causer la mort de l'animal dans l'utérus même. D'autres occasionnent des malformations décelables à la naissance, ou des troubles fonctionnels qui ne se manifestent que par la suite.

6/ Cette question est traitée en détail dans l'annexe J (Effets de l'irradiation in utero sur le développement).

On a également constaté que les types d'altérations produites et la sensibilité à l'induction de ces effets diffèrent considérablement aux divers stades du développement prénatal, et varient suivant que l'irradiation a eu lieu avant la nidation de l'embryon dans la paroi utérine, pendant la phase principale de l'organogénèse - c'est-à-dire au moment de la différenciation des organes ou des tissus dans l'embryon - ou aux stades ultérieurs du développement du fœtus.

30. Il apparaît aussi que l'irradiation prénatale aux divers stades du développement peut provoquer chez l'homme des types similaires de lésion. Cependant, les données sur l'homme dont on dispose sont trop peu nombreuses pour permettre une estimation quantitative des risques des rayonnements à ces différents stades, et il est évident que les valeurs calculées à partir des observations sur les animaux ne peuvent être appliquées directement à l'être humain. Le Comité a toutefois examiné les effets produits chez un certain nombre d'espèces mammifères à différents stades du développement, en s'efforçant de les comparer avec les altérations observées chez l'homme aux stades correspondants. La présente partie du rapport traite donc des effets de l'irradiation de l'embryon ou du fœtus sur son développement. La section D, consacrée aux effets génétiques des rayonnements, analyse les effets qui sont causés par l'irradiation des cellules germinales avant la conception, mais qui se manifestent aux stades ultérieurs du développement; l'induction de transformations malignes à la suite de l'irradiation du fœtus a déjà été étudiée aux paragraphes 18 à 28.

31. Les effets de l'irradiation avant la nidation de l'embryon dans l'utérus ont été étudiés chez la souris, le rat, le hamster, le lapin et le chien. A ce stade, l'irradiation peut provoquer la mort de l'embryon et empêcher la nidation, avec une fréquence qui varie suivant les espèces. Les embryons qui survivent à l'irradiation et parviennent à s'implanter semblent toutefois se développer normalement, et l'on n'a pas de preuve d'un accroissement de la fréquence de la mort intra-utérine ou de l'induction d'anomalies à la naissance ou par la suite.

32. L'irradiation postérieure à la nidation, et pendant la période de différenciation des structures et de développement des organes, provoque des types assez semblables de malformations ou de lésions chez un certain nombre d'espèces mammifères différentes, si l'irradiation a lieu à des stades analogues du développement. Les observations recueillies dans les rares cas d'irradiation à des fins thérapeutiques de la région pelvienne des femmes enceintes permettent d'aboutir aux mêmes constatations chez l'espèce humaine, si l'irradiation a lieu approximativement entre 9 et 40 jours après la conception.

33. Les études sur les animaux irradiés, surtout sur les rats et les souris, mais également sur plusieurs autres espèces, montrent que l'irradiation peut provoquer trois principaux types d'effets. A des doses relativement élevées, notamment au début de la vie de l'embryon, la mort peut survenir, soit dans l'utérus, soit peu après la naissance; les doses qui provoquent un pourcentage de létalité de 50 p. 100 dans ces conditions sont à peu près égales ou supérieures à 100 rads. A ces mêmes niveaux de doses ou à des doses inférieures, il arrive aussi que la croissance de l'embryon soit ralentie, et que ce retard dans la croissance normale persiste au cours de la vie postnatale. Dans d'autres cas, enfin, des anomalies plus localisées du développement se produisent, provoquant des malformations de certaines structures ou des troubles des fonctions métaboliques.

34. Les études sur les animaux ont également permis de constater que les malformations de l'oeil, du cerveau et du système nerveux, ou de la tête, du squelette et des extrémités peuvent spécifiquement résulter d'une irradiation au cours de l'organogenèse, et que la malformation probable dépend essentiellement du moment où a eu lieu l'irradiation pendant cette période. On a peu de renseignements sur les conditions dans lesquelles la fréquence d'une malformation, ou de l'ensemble des malformations, varie en fonction de la dose. Toutefois, un accroissement de la fréquence de certaines malformations a été observé à des doses aussi faibles que 5 rads chez la souris, et à des doses de 5 à 10 rads chez le rat, lorsque l'irradiation a lieu aux moments appropriés pour provoquer ces malformations. A des doses absorbées de 10 à 100 rads d'irradiation peu ionisante, des malformations de plusieurs types peuvent être induites chacune avec une fréquence d'environ 10^{-3} rad⁻¹ au moins, mais les données dont on dispose ne permettent pas en général de déterminer ce que seraient ces fréquences à des doses moins élevées.

35. S'il est prouvé que l'irradiation provoque chez l'homme des malformations, dont le type dépend du stade de développement atteint au moment de l'irradiation, on ne dispose en revanche que de rares données concernant la fréquence probable de ces malformations, surtout à des doses faibles. Dans son rapport de 1969, le Comité avait évalué la fréquence probable de l'arriération mentale, liée à de petites dimensions céphaliques (microcéphalie), à environ 10^{-3} rad⁻¹ pour les doses de plus de 50 rads administrées à un débit de dose élevé. Certaines observations récentes ont permis de constater un accroissement de la fréquence de la microcéphalie et de l'arriération mentale en fonction de la base reçue à Nagasaki, dans les cas où l'irradiation a eu lieu entre la troisième et la dix-septième semaine de la grossesse. A Hiroshima, où l'élément neutrons était nettement plus important, on a constaté un effet comparable pour des doses plus faibles. Cependant diverses études sur les effets de l'irradiation de l'embryon au cours de séances de radiologie, en général à des doses de quelques rads, n'ont permis de constater aucune augmentation nette des anomalies.

36. Chez les animaux l'irradiation au stade foetal du développement peut, comme aux stades antérieurs de la vie intra-utérine, provoquer la mort du fœtus, un retard de la croissance ou des malformations. Toutefois, à ce stade, le risque de létalité s'affaiblit progressivement, et la probabilité des malformations diminue nettement, du moins en ce qui concerne les anomalies des principales structures anatomiques qui peuvent occasionner de graves troubles fonctionnels. L'irradiation, en particulier à des doses élevées, continue de provoquer certaines anomalies importantes. Cependant, les malformations qui se produisent à des doses plus faibles sont surtout des lésions qu'il est possible de déceler au microscope. On a toutefois constaté une diminution fréquente des poids et de la taille à la naissance, après irradiation au stade foetal du développement.

37. Chez l'homme la période foetale correspond aux 33 dernières semaines de la gestation. Au cours de cette période, on a constaté une relation de l'irradiation avec les anomalies de la croissance et avec une certaine mortalité à des niveaux de doses élevés. Des doses élevées peuvent encore provoquer une microcéphalie, mais les malformations graves sont moins probables à ce stade qu'au cours de l'organogenèse, encore que l'on ait constaté qu'une irradiation médicale diagnostiquée au cours du quatrième ou du cinquième mois de la grossesse occasionne parfois une hétérochromie (coloration irrégulière de l'iris).

38. On a constaté que les enfants japonais qui avaient été exposés in utero à des doses dépassant 50 rads lors des explosions atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki étaient de plus petite taille que la normale à l'âge de 17 ans.

39. Des études expérimentales sur les animaux, on peut conclure que l'embryon ou le fœtus en développement montre une sensibilité marquée à l'induction d'anomalies par irradiation, surtout au cours des principales phases de l'organogenèse. La réaction est trop uniforme chez les diverses espèces pour que l'homme constitue une exception probable à cet égard. Cependant, on ne dispose pas encore de données assez sûres pour évaluer quantitativement avec précision le risque d'irradiation prénatale chez l'homme à des stades de développement comparables, surtout à doses et à débits de doses faibles. Le Comité estime donc qu'il importerait d'étudier plus en détail certains aspects particuliers de cette question.

D. Effets génétiques des rayonnements 7/

40. Lorsque les cellules sont exposées à des rayonnements ionisants, les chromosomes du noyau de la cellule peuvent être endommagés par des mutations géniques, c'est-à-dire par des altérations des unités élémentaires de l'hérédité qui sont localisées dans les chromosomes, ou par l'induction d'aberrations chromosomiques, qui sont des modifications de la structure ou du nombre des chromosomes. Lorsque ces changements interviennent dans les cellules germinales, il arrive qu'ils soient transmis aux descendants de la personne irradiée. Les mutations géniques et les aberrations chromosomiques qui se produisent spontanément chez l'homme sont une source importante d'affections : elles sont à l'origine d'un pourcentage élevé d'avortements spontanés et de malformations congénitales provoquant des tares mentales et physiques. Il importe donc d'évaluer dans quelles proportions l'irradiation peut augmenter la fréquence de ces anomalies génétiques. Le Comité a examiné les estimations de fréquence qui peuvent être établies pour différents types de mutations géniques et d'aberrations chromosomiques, en particulier lorsque ces estimations peuvent s'appliquer aux deux stades les plus importants de la cellule reproductrice, à savoir la spermatogonie et l'ovocyte, qui constituent la population permanente de cellules germinales chez le mâle et chez la femelle respectivement.

41. Pour plus de commodité, on a subdivisé les mutations géniques en mutations dominantes ou récessives, selon l'importance de l'expression de l'effet de la mutation chez un descendant héritant du gène mutant d'un seul parent. Une mutation entièrement dominante a un effet maximal chez le descendant, même si elle n'est transmise que par un seul parent. Une mutation entièrement récessive n'a aucun effet chez un descendant qui n'a pas reçu de gènes comportant la même anomalie de ses deux parents (ou qui n'a pas reçu ces gènes dans le chromosome X). Chez l'homme comme chez les mammifères ayant fait l'objet d'expériences, beaucoup de mutations ont un effet qui se situe à un point intermédiaire entre le caractère entièrement dominant et le caractère entièrement récessif.

42. Il y a deux types d'aberrations chromosomiques : a) les aberrations structurelles, provenant d'une cassure et d'une réunion de chromosomes, qui peuvent entraîner des diminutions (délétions) ou des accroissements (duplications) du nombre de certains gènes au sein d'un chromosome, ou des changements dans l'ordre de disposition des gènes (inversions ou translocations); b) les aberrations numériques, qui comportent un gain ou une perte de chromosomes.

7/ Cette question est examinée en détail à l'annexe H (Effets génétiques des rayonnements).

43. Le Comité a examiné en détail les travaux récents relatifs aux processus de radio-induction de la lésion et de réparation de l'ADN, car il paraît probable que les effets génétiques des rayonnements seront dus essentiellement aux dommages occasionnés dans cette structure moléculaire.

44. Pour estimer les risques génétiques des rayonnements, en particulier à des doses faibles, on ne dispose que d'un très petit nombre de données quantitatives provenant d'observations sur les effets de l'irradiation chez l'homme. Ces estimations doivent donc reposer dans une large mesure sur les effets observés sur les animaux, et notamment sur la souris, chez qui on a examiné de manière approfondie les effets de l'irradiation sur les gènes. Sur la base de ces observations, on a supposé que, dans un ensemble de conditions données, l'irradiation faisait subir aux cellules germinales de la souris et de l'homme le même nombre de dommages génétiques, et que les variables physiques et biologiques influent sur l'étendue du dommage de la même manière et dans les mêmes proportions. Dans certains cas, les données recueillies sur l'homme ou sur d'autres primates permettent de vérifier ces hypothèses.

45. Dans le présent rapport, deux méthodes ont été utilisées pour évaluer le risque génétique pour l'homme de l'exposition aux rayonnements. La première, dite méthode "directe", exprime les risques en fonction des fréquences prévues de divers types de changements génétiques induits par unité de dose. La seconde, dite méthode de la "dose doublante", évalue les doses de rayonnements qui doublent les fréquences naturelles de divers types d'anomalies génétiques; les effets attendus d'une irradiation à une dose donnée sont ensuite évalués, proportionnellement, sur la base des fréquences naturelles connues des diverses formes d'anomalies génétiques chez l'homme et de la valeur présumée de la dose doublante.

46. Sur la base de la méthode directe, on évalue le taux total d'induction des mutations récessives à $60 \cdot 10^{-6}$ par gamète et par rad. On calcule cette valeur à partir de la fréquence à laquelle les mutations léthales récessives autosomes sont radio-induites à un débit de dose élevé dans les spermatogonies de la souris, et en apportant les corrections nécessaires pour tenir compte des mutations qui sont probablement restées non détectées ainsi que des conditions d'irradiation qui s'appliquent à l'homme. Pour l'évaluation du risque encouru par la première génération de descendants de parents irradiés, c'est le caractère plus ou moins dominant de ces mutations qui est à prendre en considération.

47. On peut parvenir à une estimation générale du risque causé par l'induction de mutations à effets dominants (mutations dominantes visibles, et mutations récessives à caractère partiellement dominant mentionnées au paragraphe 46) à partir du taux d'induction des mutations provoquant des anomalies du squelette chez la souris, mutations qui ont été étudiées en détail. On s'est servi du taux d'induction des mutations affectant le squelette chez la souris pour évaluer le taux d'induction des mutations dominantes affectant tous les systèmes organiques chez l'homme. Une étude sur la nature des effets sur le squelette a permis en outre d'évaluer la proportion de ces mutations qui entraînerait chez l'homme des incapacités graves. L'estimation générale ainsi obtenue est de $20 \cdot 10^{-6}$ rad⁻¹ pour l'irradiation des individus du sexe masculin. Pour l'irradiation des individus du sexe féminin à faibles doses et à faibles débits de doses, le risque de mutation est probablement très faible, si l'ovaire de la femme réagit à l'irradiation comme celui de la souris.

48. Pour évaluer par la méthode directe le risque d'induction d'aberrations chromosomiques, on dispose de certaines observations sur l'homme, ainsi que sur plusieurs espèces de primates. Les données recueillies sur les primates sont extrêmement variables, mais on a utilisé celles qui font apparaître le risque le plus élevé (chez le ouistiti, de préférence au singe rhésus) en même temps que celles dont on dispose sur l'homme. Sur ces bases, on a évalué les risques résultant de l'induction de translocations réciproques à 2 à 10 cas d'enfants nés vivants présentant des malformations congénitales par million d'embryons, par rad d'irradiation du père, avec environ cinq fois plus d'avortements et environ 10 fois plus de pertes au premier stade de l'embryon. Le risque correspondant causé par l'irradiation de la mère est probablement peu élevé, comme celui qui découle d'autres aberrations structurales et de pertes de chromosomes sexuels; quant aux gains de chromosomes, on ne peut pas encore les évaluer quantitativement. Les méthodes directes donnent donc à penser que le risque génétique encouru par la première génération suivant l'exposition des parents à une dose de 1 rad est probablement de l'ordre de 20 à 30 cas graves par million d'enfants nés vivants (20 mutations dominantes et 2 à 10 aberrations chromosomiques structurales). Il n'est pas tenu compte, dans cette estimation, du risque d'induction d'anomalies dans le nombre des chromosomes, pour lequel on ne dispose pas encore de données sûres.

49. La méthode de la dose doublante suppose que, pour chaque type d'irrégularité génétique, le taux de mutations radio-induites est proportionnel au taux d'apparitions spontanées. On a observé chez la souris que la dose nécessaire pour doubler la fréquence naturelle de plusieurs formes différentes d'anomalies génétiques est généralement constante, et peut être évaluée à environ 100 rads pour les rayonnements tels que les rayons X, bêta ou gamma administrés à faible débit de dose. A cet égard, il est du plus haut intérêt de relever que les données relatives à la mortalité des enfants des survivants des explosions de bombes atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki montrent que, tant pour l'homme que pour la femme, il est très peu probable que la dose doublante soit inférieure à cette valeur. Par conséquent, l'accroissement des affections d'origine génétique par rad ne dépasse sans doute pas un pour cent des taux naturels correspondants.

50. En appliquant cette méthode, le Comité estime que, sur un million d'enfants nés vivants de la première génération de descendants d'une population exposée à une irradiation de 1 rad à faible débit de dose au cours de cette génération, on pourra observer 20 cas d'enfants souffrant d'affections liées à des mutations dominantes ou à des anomalies des chromosomes X, 38 cas de maladies d'origine chromosomique et 5 cas de maladies d'étiologie complexe, provoqués par l'irradiation. On évalue le dommage génétique total exprimé dans toutes les générations (ou la valeur atteinte au cours de chaque génération après une irradiation continue prolongée) à $185 \cdot 10^{-6} \text{ rad}^{-1}$ sur la base de la méthode de la dose doublante.

51. Les types de dommage génétique examinés et les estimations de risque établies ne tiennent pas pleinement compte de la catégorie de phénomènes mutationnels qui provoquent des effets délétères mineurs et qui, en raison de leur grand nombre, peuvent imposer à la population un plus grand fardeau génétique total que celui causé par un plus petit nombre de cas relativement plus graves.

III. SOURCES DE RAYONNEMENTS ET IRRADIATIONS

A. Généralités 8/

52. En rassemblant et en évaluant les données relatives aux irradiations subies par l'homme, le Comité poursuivait un double but. Il s'agissait premièrement de fournir des données individuelles sur l'irradiation qui définiraient les niveaux de risque auxquels les individus peuvent être exposés dans un certain nombre de cas. Il s'agissait en second lieu de fournir des données qui puissent être utilisées pour définir les conséquences totales des lésions radio-induites dues à des sources de rayonnements données. Ces deux types d'évaluation, le calcul-individu et le calcul-source, servent donc des objectifs différents.

53. Pour tous les calculs, la quantité de base est la dose absorbée, qui, pour certains types d'irradiation, doit être pondérée pour tenir compte d'une efficacité biologique accrue (par. 17). Dans le présent rapport, le simple terme de "dose", employé sans autre précision, se rapporte à la dose moyenne absorbée à un organe ou un tissu. Dans la présentation des données relatives à la dose, la période de temps sur laquelle la dose est accumulée est toujours indiquée lorsqu'il s'agit des calculs-individu; elle est de moindre importance lorsqu'il s'agit des calculs-source.

1. Evaluations par individus

54. Selon le but de l'évaluation, la période de temps à laquelle correspond la dose individuelle peut être un an, une vie entière, la durée limitée d'une exposition unique ou toute autre durée pertinente. Les activités permanentes provoquent inévitablement des accumulations de radio-activité dans le corps de l'être humain ou dans son environnement, jusqu'à ce qu'une situation d'équilibre soit atteinte. Tel serait le cas, par exemple, d'une activité qui provoquerait l'émission de radio-éléments à longue période, lesquels resteraient dans l'environnement pendant longtemps. S'agissant de situations de ce genre, la "dose engagée" imputable, par exemple, à une année d'activité est calculée en additionnant les doses annuelles individuelles futures. Cette méthode de calcul est également appliquée à l'individu moyen et, en règle générale, étendue aux générations futures. On peut démontrer que, lorsque la dose annuelle atteindra sa valeur maximale, celle-ci ne dépassera pas la dose engagée imputable à une année d'activité. Les doses engagées à diverses populations, par exemple les groupes d'individus les plus fortement exposés, ou l'ensemble de la population mondiale, sont calculées de façon à tenir compte des contributions futures à la dose que les populations humaines recevront nécessairement du fait d'activités actuelles dont la poursuite engendrerait des doses annuelles plus élevées qu'à présent.

2. Evaluations par sources

55. Pour les calculs par sources, il est nécessaire de définir une quantité qui soit liée aux dommages imputables à l'activité en cause. Si l'on considère qu'il existe une relation de proportionnalité entre la dose d'irradiation et le risque individuel dans l'intervalle de doses étudié, la "dose collective" est une

8/ Les notions utilisées pour le calcul des expositions aux rayonnements sont traitées en détail dans l'annexe A (Notions et quantités utilisées pour l'évaluation des irradiations chez l'homme).

quantité proportionnelle aux dommages radio-induits. On l'obtient en multipliant le nombre de personnes composant la population exposée par la dose moyenne qu'elles ont reçue. Si l'on veut évaluer l'ensemble des dommages imputables à une activité donnée, les calculs doivent porter sur tous les individus c'est-à-dire qu'on calculera la dose collective globale. Il conviendra également de tenir compte des contributions futures de l'activité incriminée à la dose. C'est pourquoi les "doses engagées collectives" ont été calculées en additionnant les doses collectives annuelles globales sur l'ensemble des années à venir. La dose engagée collective est toujours liée à une activité délimitée, qu'il s'agisse du rejet d'une certaine quantité de substance radio-active dans l'environnement, de la production d'une certaine quantité d'énergie électrique ou du résultat d'une décision particulière.

56. On peut utiliser les valeurs de la dose engagée collective pour évaluer les dommages radio-induits, à condition de connaître l'étendue du dommage radio-induit par unité de dose collective (homme-rad). Même sans cela, on peut comparer les doses collectives imputables à diverses activités pour en évaluer les dommages respectifs. Cette comparaison pourrait être utile dans le choix entre les diverses applications possibles des mesures de radioprotection, sur la base d'une analyse coût/efficacité, la proportionnalité du dommage à la dose étant admise.

B. Sources d'irradiation chez l'homme

57. Dans les rapports précédents du Comité, les données relatives à l'irradiation des êtres humains étaient présentées séparément pour diverses catégories d'expositions : irradiation d'origine professionnelle, irradiation de malades à des fins médicales, irradiation due à la contamination de l'environnement et irradiation due à des sources diverses. En gros, la même méthode a été adoptée dans les annexes scientifiques au présent rapport 9/. Cependant, pour fournir des données utilisables aux fins des calculs par sources, nous passerons en revue dans les paragraphes qui suivent un certain nombre de sources et d'activités, compte tenu des expositions totales auxquelles elles donnent lieu, que les contributions en cause soient d'origine professionnelle ou mésologique.

58. Les irradiations dues aux sources naturelles, qui sont causées par des rayonnements terrestres ou cosmiques, diffèrent légèrement selon l'emplacement géographique, et notamment selon les différences d'altitude et de répartition des radio-éléments dans l'environnement terrestre. Pour plus de commodité, dans le présent rapport, la dose engagée collective due aux autres sources d'irradiation est parfois indiquée par la durée d'exposition aux sources naturelles qui aurait provoqué la même dose engagée collective globale (voir tableau 3).

59. Les irradiations dues aux sources naturelles peuvent être accrues par certaines activités humaines telles que les vols en haute altitude, l'utilisation de matériaux de construction à forte teneur en radium, la réduction du taux de ventilation dans les habitations et le forage de puits profonds pour rechercher des eaux souterraines riches en radon. Ces accroissements d'irradiations, eux-mêmes variables, peuvent aller d'une légère augmentation à une multiplication de la dose. Il peut en être tenu compte dans les évaluations par sources lorsqu'ils sont la conséquence de décisions humaines auxquelles on peut associer une dose engagée

9/ Pour plus de détails sur ces catégories d'expositions, entre autres, prière de se reporter aux annexes au présent rapport : annexe B (Sources naturelles de rayonnements), annexe C (Contamination radio-active due aux explosions nucléaires), annexe D (Contamination radio-active due à la production d'énergie nucléaire), annexe E (Doses dues à l'irradiation professionnelle), et annexe F (Irradiation médicale).

collective en tant que mesure du dommage résultant. Parmi les autres sources ou activités pour lesquelles le Comité donne des estimations d'irradiation, citons l'utilisation des rayonnements à des fins médicales (irradiations de patients et de personnes autres que les patients), la production d'électricité par la fission nucléaire, les essais nucléaires et les biens de consommation émetteurs de rayonnements.

1. Exposition normale aux sources naturelles de rayonnements 10/

60. De tout temps, l'homme a été exposé à des rayonnements ionisants provenant de diverses sources naturelles. Cette irradiation naturelle a ceci de particulier qu'elle touche l'ensemble de la population mondiale et qu'elle se produit à un taux relativement constant, depuis très longtemps. Cependant, elle aussi varie considérablement d'un endroit à l'autre, voire dans un même lieu, par exemple, à l'intérieur d'un bâtiment.

61. Evaluer les doses de rayonnements imputables aux sources naturelles est d'autant plus important que l'irradiation naturelle est la principale composante de la dose collective à la population mondiale. En outre, l'étendue des variations de l'irradiation naturelle en fonction du lieu et des modes de vie revêt un intérêt pratique.

62. Les sources naturelles de rayonnement comprennent les sources externes, telles que les rayons cosmiques et les substances radio-actives qui se trouvent dans le sol ou dans les matériaux de construction, et les sources internes, c'est-à-dire les substances radio-actives naturellement présentes dans le corps humain, en particulier le potassium-40.

63. Le tableau 1 ci-dessous résume la part moyenne des sources naturelles dans l'irradiation des populations humaines vivant dans les zones à fond naturel de radio-activité normal. La dose individuelle annuelle a été calculée pour quatre tissus - gonades, ensemble des poumons, cellules tapissant la surface des os, moelle rouge de l'os - et pour les différentes catégories d'irradiations. Dans ces tissus, la dose annuelle consécutive à une exposition normale aux sources naturelles est évaluée à environ 100 mrad (1 mrad = 0,001 rad). Pour permettre la comparaison, les évaluations du rapport de 1972 figurent entre parenthèses dans ce tableau. Par rapport à ces chiffres de 1972, on constate un faible pourcentage de différence, négatif pour les gonades et les cellules tapissant les os, positif pour la moelle rouge de l'os. Ces différences tiennent essentiellement à une meilleure connaissance des doses imputables au rayonnement "terrestre" (considéré ici comme englobant les rayons gamma qui proviennent du sol et ceux qui proviennent des matériaux de construction), que l'on estime à l'heure actuelle inférieures de 30 p. 100 à ce qu'indiquait le rapport de 1972. Si les chiffres relatifs à la moelle rouge de l'os sont plus élevés, c'est que l'on estime que la contribution du potassium-40 est plus forte que précédemment.

10/ Cette question est traitée en détail dans l'annexe B (Sources naturelles de rayonnements).

Tableau 1

Doses individuelles annuelles dues à une exposition normale
aux sources naturelles de rayonnements
(en mrad) a/

	Conades	Ensemble des poumons	Cellules tapissant les os	Moelle rouge de l'os
<u>Irradiation externe</u>				
Rayons cosmiques	28 (28)	28	28 (28)	28 (28)
Rayonnement terrestre	32 (44)	32	32 (44)	32 (44)
<u>Irradiation interne</u>				
Potassium-40	15 (19)	17	15 (15)	27 (15)
Radon-222 (et descendants)	0,2 (0,07)	30	0,3 (0,08)	0,3 (0,08)
Autres radio-éléments	2 (1,4)	5,5	9,1 (4,3)	4 (1,9)
Total	78 (93)	110	84 (92)	92 (89)

a/ Les chiffres entre parenthèses indiquent les estimations du rapport de 1972. Tous les chiffres, totaux compris, sont arrondis à deux chiffres significatifs.

64. L'inhalation du radon-222 et de ses descendants provoque une dose à l'ensemble des poumons - calculée pour la première fois par le Comité - de 20 à 45 p. 100 supérieure à la dose aux autres tissus. En outre, une part considérable (31 p. 100) de cette dose est imputable au rayonnement alpha, soupçonné d'avoir une plus forte efficacité biologique relative que les rayons bêta et gamma, responsables pour plus de 90 p. 100 de la dose aux autres tissus. Notons que les cellules épithéliales de l'arbre trachéo-bronchique reçoivent une dose annuelle de l'ordre de 200 mrad, provenant surtout de particules alpha.

65. Les doses individuelles imputables au potassium-40 dans le corps varient peu. La dose au poumon, en revanche, est sujette à des variations assez considérables en raison de la concentration du radon et de ses descendants dans l'air des locaux fermés. La part de la dose imputable à ces sources varie normalement de 4 à 400 mrad dans une année.

66. Les groupes de population vivant en haute altitude ou dans des zones à fort rayonnement naturel reçoivent des doses externes beaucoup plus élevées. Par ailleurs, certains groupes sont exposés à de fortes doses internes. Il s'agit notamment des populations septentrionales qui se nourrissent de viande de caribou ou de renne, ou des peuples dont les habitations sont peu ventilées, comme cela peut être le cas dans les climats froids. Le taux de ventilation détermine la concentration moyenne de radon dans l'air des locaux fermés pour un taux donné d'émanation (provenant des matériaux de construction, du sous-sol ou d'une eau courante riche en radon).

67. Dans le calcul des risques comparés, le total de l'exposition due à une quantité déterminée d'activité impliquant des rayonnements (par. 55) peut être exprimé par la durée de l'exposition, à taux constant, d'une population déterminée, qui causerait le même dommage. Cette comparaison revêt un intérêt particulier si l'activité cause une exposition relative uniforme, et si la référence est à l'équivalent, en durée, d'exposition de la population mondiale aux sources naturelles de rayonnements. Comme dans les rapports précédents, le Comité a donc indiqué la durée équivalente d'exposition aux sources naturelles qui causeraient les mêmes doses engagées collectives que les activités étudiées dans le présent rapport. La dose collective annuelle à la population mondiale qui est imputable aux sources naturelles est de l'ordre de 3×10^8 homme-rads pour la plupart des tissus, mais elle est de 30 p. 100 environ plus élevée pour l'ensemble des poumons.

2. Accroissement technologique de l'irradiation due aux sources naturelles 11/

68. Dans certains cas, l'exposition aux sources naturelles de rayonnements est accrue par l'évolution technologique. Exemples : l'exposition aux rayons cosmiques dans les aéronefs, l'irradiation due à l'industrie des phosphates, ou l'irradiation résultant du rejet de radio-éléments naturels par les centrales thermiques.

69. Matériaux de construction. L'emploi de certains matériaux de construction augmente considérablement les niveaux d'irradiation à l'intérieur des bâtiments. Certains de ces matériaux sont d'origine naturelle, comme par exemple la pierre ponce, le granit, ou le ciment léger tiré des schistes alunifères. D'autres sont fabriqués à partir de sous-produits industriels : mâchefer, gypse phosphoreux. Si tout le gypse phosphoreux tiré d'une tonne de minerai de phosphate commercialisable était utilisé dans l'industrie du bâtiment, la dose engagée collective résultante pourrait être de quelques hommes-rads par tonne de minerai. L'irradiation imputable aux rayons gamma dans l'air des constructions faites de ces matériaux peut être nettement supérieure au taux de dose normal moyen dû au rayonnement terrestre. Pour un taux de ventilation donné, le niveau de radon est lui aussi considérablement accru.

70. Ventilation réduite. En modifiant la ventilation d'une pièce peu aérée, on modifie considérablement la teneur en radon de l'air. Le taux de ventilation des maisons varie suivant les pays, en fonction du climat, du mode de chauffage et des normes de construction. Dans de nombreux pays, il n'est pas rare que l'air se renouvelle de deux à cinq fois par heure. Dans les pays froids, en revanche, ce taux horaire de renouvellement de l'air tombe parfois jusqu'à 0,1-0,2. Les poumons peuvent recevoir de ce fait une dose annuelle de rayons alpha de plusieurs rads. La présence de radon dans l'eau est à l'origine d'irradiations, non seulement après ingestion, mais aussi après inhalation des émanations de radon provenant de l'eau. Lorsque l'eau de robinet est à forte concentration de radon, la dose aux poumons due à l'inhalation dans des locaux fermés est plus forte que la dose à l'estomac résultant de l'ingestion en quantité normale.

71. Passagers des aéronefs. Chaque année, les voyages aériens représentent un total d'environ 10^9 heures-passager. En situation solaire normale, la dose annuelle collective imputable à ces voyages est d'environ 3×10^5 homme-rads.

11/ Cette question est traitée en détail dans l'annexe B (Sources naturelles de rayonnements).

Comme les grandes éruptions solaires présentent un risque de taux de dose élevé par rayonnements cosmiques lors des vols à haute altitude, il a été nécessaire de doter les avions supersoniques de moniteurs spéciaux avertissant le pilote lorsqu'une éruption solaire se prépare. L'appareil peut alors être ramené à plus basse altitude, si le taux de dose atteint un niveau prédéterminé. Les fortes irradiations à haute altitude au cours d'éruptions solaires sont des phénomènes rares qui n'accroissent pas notablement la dose collective à la population mondiale.

72. Utilisation des engrais phosphatés. Les gisements de phosphate minéral contiennent en général des concentrations relativement fortes de radio-éléments descendant de l'uranium-238. On extrait de très grandes quantités de roches phosphatées. Une partie est transformée en engrais, le reste éliminé comme déchets. Ces deux activités peuvent entraîner une irradiation du public. De plus, l'un des dérivés de cette industrie est le gypse chimique, qui peut être employé comme matériau de construction et, à ce titre, revêt un intérêt particulier en tant que source de rayonnement. L'évaluation de la dose engagée collective par tonne de minerai commercialisable montre que la part des engrais phosphatés est faible (de l'ordre de $3 \cdot 10^{-4}$ homme-rads par tonne d'engrais). Pour une consommation annuelle mondiale de 10^8 tonnes d'engrais phosphatés, la dose engagée collective est de l'ordre de $3 \cdot 10^4$ homme-rads.

73. Centrales thermiques. La combustion du charbon est l'une des causes de surexposition aux radio-éléments présents dans la nature, notamment au radium, au thorium et à l'uranium. On a mesuré la concentration des principaux radio-éléments à la fois dans du charbon de diverses origines et dans les scories et les cendres. Le Comité a calculé la dose engagée collective due aux dépôts de cendres, par année-mégawatt d'énergie électrique produite. Il a constaté que cette contribution était faible : de 0,002 à 0,02 homme-rads par MW (e) an aux divers tissus corporels pour les résidus non enfouis, et également de 0,002 à 0,02 homme-rads par MW (e) an pour les matières absorbées par inhalation.

74. Utilisation du gaz naturel. L'utilisation du gaz naturel dans les cuisinières et les appareils de chauffage entraîne la présence de radon dans les bâtiments. Le radon produit dans le sol passe des formations géologiques dans les puits de production de gaz. On estime toutefois que cette source de radon est négligeable en comparaison des autres.

3. Produits de consommation émetteurs de rayonnements 12/

75. Beaucoup de produits de consommation contiennent des radio-éléments, qui y sont délibérément incorporés dans un but précis. En outre, certains appareils électroniques, comme les récepteurs de télévision, peuvent émettre des rayons X. Parmi les produits de consommation qui émettent des rayonnements, les plus répandus sont les instruments d'horlogerie radioluminescents, les boussoles, les signaux lumineux, les détecteurs de fumée, les dispositifs antiparasites et les postes de télévision. Le niveau d'irradiation autorisé par les réglementations nationales varie d'un pays à l'autre. Les radionucléides les plus communément utilisés dans les produits de consommation sont le tritium, le krypton-85 et le prométhéum-147, qui produisent des quantités négligeables de rayons pénétrants.

12/ Cette question est traitée en détail dans l'appendice au chapitre IV de l'annexe B, ainsi que dans l'annexe E (Doses dues à l'irradiation professionnelle).

76. Jusqu'aux années 60, le radium-226 était l'élément le plus courant dans les peintures radioluminescentes, et donc dans les montres et les réveils. Le porteur d'une montre au radium de type ordinaire reçoit une dose aux gonades de quelques mrad par an. Cette irradiation externe a disparu depuis que le radium-226 a été remplacé par le tritium, mais il arrive que du tritium s'échappe des montres et provoque une irradiation interne, cause d'une dose à l'ensemble du corps d'environ 0,5 mrad par an. L'utilisation actuelle des peintures radioluminescentes dans l'industrie de l'horlogerie pourrait provoquer une dose collective à la population mondiale de l'ordre de 10^6 homme-rads par an. Elle est aussi à l'origine de certaines irradiations professionnelles.

77. Les spécialistes de la luminescence ont toujours été parmi les groupes de travailleurs exposés à des doses supérieures à la moyenne. La nette amélioration qui pourrait résulter d'un programme énergique de radioprotection était démontrée dans le rapport de 1972. Les doses collectives d'origine professionnelle sont faibles en comparaison de celles qui résultent de l'exposition du public, mais il peut encore y avoir des cas de doses individuelles élevées.

78. Les récepteurs de télévision en couleur sont les plus courants parmi les produits de consommation qui risquent d'exposer le public aux rayons X. Dans le rapport de 1972, on avait signalé que certains types d'appareils de télévision laissaient parfois échapper des rayons X. Depuis cette date, toutefois, l'usage des circuits transistorisés s'est généralisé. Il est donc probable que l'émission de rayons X provenant des récepteurs de télévision en couleur de construction récente est négligeable, si l'appareil fonctionne dans des conditions normales et est convenablement entretenu.

79. L'évaluation de la dose causée par l'emploi des produits de consommation émetteurs de rayonnements est rendue difficile par l'insuffisance des renseignements sur le nombre de produits actuellement commercialisés et sur l'étendue de l'activité en jeu. Toutefois, grâce aux recommandations internationales et à certaines réglementations nationales, les contrôles s'améliorent progressivement; il est vraisemblable qu'actuellement, la dose individuelle aux gonades imputable à l'utilisation de produits de consommation émetteurs de rayonnements est inférieure à 1 mrad.

4. Production d'énergie par fission nucléaire^{13/}

80. Le nombre des réacteurs nucléaires utilisés pour la production d'électricité a continué à augmenter, quoiqu'à un rythme inférieur à ce qui était prévu, depuis les premiers efforts du Comité pour évaluer les rejets de matières radioactives provenant de l'industrie nucléaire et la dose engagée globale qui en résulte. En 1976, la capacité installée de production nucléaire s'élevait à environ 80 GW(e) pour l'ensemble du monde, et englobait 187 réacteurs, exploités dans 19 pays. Pour l'an 2000, on prévoit une capacité d'environ 2 000 GW(e).

81. La production d'énergie nucléaire nécessite une série d'opérations : extraction et traitement de l'uranium, transformation en matière combustible (avec dans la plupart des cas, enrichissement en uranium-235), fabrication des éléments du combustible, utilisation de celui-ci dans les réacteurs nucléaires, entreposage du combustible utilisé, traitement du combustible en vue de son recyclage, transport des matières entre les diverses installations, et enfin évacuation des déchets radioactifs.

^{13/} Cette question est traitée en détail dans l'annexe D (Contamination radioactive due à la production d'énergie d'origine nucléaire) et dans l'annexe E (Doses dues à l'irradiation professionnelle).

82. Dans leur presque totalité, les matières radioactives utilisées par l'industrie nucléaire se trouvent dans les réacteurs et dans le combustible utilisé, ou dans des fractions de ce combustible qui en sont séparées pendant les opérations de retraitement et qui sont placées dans des conteneurs spéciaux. Cependant, à chaque étape ou presque des opérations, de petites quantités de matières radioactives sont rejetées dans l'environnement. Pour la plupart, ces rejets n'ont d'effet que sur l'environnement local ou régional, la période des radionucléides en cause étant trop courte pour permettre une dispersion dépassant la région. Il arrive cependant que certains rejets aient un effet mondial, lorsqu'il s'agit de radionucléides à période plus longue ou à vitesse de dispersion plus élevée.

83. Le Comité s'efforce d'évaluer les doses engagées collectives dues aux substances radioactives rejetées pendant toutes les opérations de l'industrie nucléaire. Comme l'importance de chaque opération dépend de la capacité exploitée, il paraît raisonnable de mesurer ces évaluations en doses engagées collectives par unité d'énergie produite, c'est-à-dire en MW(e)an. Ces doses collectives à la population mondiale englobent les doses reçues par quatre éléments de population différents : les groupes exposés à des irradiations professionnelles, les populations locales, les populations régionales ou intermédiaires, et enfin la population mondiale.

84. Quelques radionucléides à période très prolongée posent un problème spécial de présentation. Les principaux sont l'uranium-238 ($4,5 \cdot 10^9$ ans) et l'iode-129 ($1,6 \cdot 10^7$ ans). Bien que ces nucléides ne s'accumulent pas dans la biosphère en quantité suffisante pour causer une dose annuelle supérieure à un mrad, même si la production d'énergie nucléaire se poursuit selon les techniques actuelles pendant 500 ans et à un rythme de 2 000 GW(e), la longueur des périodes d'exposition, qui durent plusieurs millions d'années, peut aboutir à des doses engagées considérables.

85. Comme ces périodes d'expositions sont extrêmement longues par rapport à la vie humaine, les doses engagées collectives n'ont qu'une valeur théorique. Par exemple, pour parvenir à une dose collective cumulée d'1 homme-rad par MW (e) an, il faudrait qu'une population mondiale de 10 milliards d'être humains soit exposée à l'uranium-238 pendant une période de l'ordre de 10 millions d'années, ou à l'iode-129 pendant 10 000 ans. Les doses annuelles indiquées au paragraphe 84 étant très limitées, les irradiations causées par ces nucléides ne sont pas prises en considération dans les conclusions ci-dessous.

86. Le carbone-14 soulève des problèmes analogues, bien que sa période soit beaucoup plus courte (5 730 ans). La dose engagée collective imputable au carbone-14 rejeté par les réacteurs à eau légère et par les installations de retraitement est évaluée à environ 5 homme-rads par MW (e) an dans les tissus mous, et à 14 homme-rads par MW (e) an dans les cellules tapissant la surface des os ainsi que dans la moelle rouge des os. La moitié de cette dose collective sera reçue dans un délai de 5 700 ans. Cependant, comme il faut un certain temps pour que le carbone-14 se disperse dans les océans, une proportion de cette dose collective pouvant aller jusqu'au quart du total sera reçue dans un délai de 500 ans. Autrement dit, si l'industrie nucléaire est exploitée à un rythme constant pendant 500 ans, le maximum de la dose collective

annuelle sera d'environ 1 homme-rad par MW (e) an dans les tissus mous et 3 homme-rads par MW (e) an dans les cellules tapissant la surface des os et dans la moelle rouge des os. Ces chiffres seront utilisés dans la comparaison ci-dessous entre les différentes contributions à la dose collective.

87. En passant en revue les contributions à la dose imputables aux diverses opérations de production d'énergie nucléaire, il convient de rappeler que les expositions individuelles sont limitées par les règlements nationaux, fréquemment inspirés des recommandations de la Commission internationale de protection contre les radiations. Il s'ensuit que la dose annuelle au corps entier des individus soumis à des irradiations professionnelles est limitée à un maximum de 5 rads pour les types d'irradiations les plus fréquents. Pour les membres de la population soumis aux risques d'irradiation les plus élevés il existe dans la plupart des pays des règlements qui limitent la dose annuelle à une fraction seulement de la dose limite de 0,5 rad par an que recommande la CIPR pour la somme de toutes les irradiations autres que naturelles ou médicales. Les politiques actuelles de protection contre les radiations prévoient aussi en principe l'élimination de toutes les expositions qui ne sont pas nécessaires, et le maintien de toutes les doses à un niveau aussi bas que raisonnablement possible. Grâce à ces précautions, les cas d'irradiation aux limites sont rares, et les distributions de la dose sont généralement telles que la dose moyenne, dans chaque groupe d'individus auxquels s'applique une limite donnée, est très inférieure à cette limite. C'est l'évaluation des doses engagées collectives par source d'irradiation qui est d'un intérêt essentiel aux fins du présent rapport.

88. En examinant les diverses opérations de production d'énergie nucléaire, le Comité a pris note des contributions ci-après à l'irradiation du personnel spécialisé et de la population :

a) Extraction, traitement et fabrication du combustible. Les irradiations accompagnant ces opérations sont principalement d'ordre professionnel. La dose engagée collective à l'ensemble du corps est de 0,05 homme-rad par MW (e) an pour les travailleurs de l'industrie d'extraction, et de 0,15 homme-rad par MW (e) an pour les spécialistes du traitement et de la fabrication du combustible. En outre, l'extraction causera des irradiations du poumon dues aux produits descendant du radon, soit un supplément de dose de 0,1 homme-rad par MW (e) an. L'irradiation de la population est réduite; voir cependant les paragraphes 84 et 85.

b) Exploitation des réacteurs. L'exposition de la population locale et régionale causera une dose engagée collective de 0,2 à 0,3 homme-rad par MW (e) an provenant des matières radio-actives rejetées dans l'eau. Le total des irradiations causées par l'exploitation des réacteurs est faible par rapport à celui des irradiations causées par les opérations de retraitement, lorsque tout le combustible utilisé est retraité en utilisant la technologie actuelle. La dose engagée collective d'origine professionnelle est d'environ 1 homme-rad par MW (e) an.

c) Retraitement du combustible. Les doses collectives - locales ou régionales - dues au retraitement sont nécessairement faibles, car chaque installation est au service d'une importante production d'énergie nucléaire exprimée en MW (e) an, et ce sont les doses limites aux habitants de la région exposés aux risques les plus élevés qui constituent le facteur limitatif. Les doses engagées collectives globales imputables au tritium (0,05 rad-homme par MW (e) an), au carbone-14

1 à 3 homme-rads par MW (e) an, voir par. 86) et au krypton 85 (0,09 à 0,25 homme-rad par MW (e) an) seraient des contributions significatives à la dose totale imputable à l'industrie nucléaire, si tout le combustible utilisé était retraité et si ces nucléides étaient rejetés dans l'environnement, comme c'est actuellement le cas. On évalue à 1,2 homme-rad par MW (e) an la contribution d'origine professionnelle due aux quantités relativement limitées de combustible de l'industrie nucléaire qui ont déjà été retraitées. Cependant, on ne pense pas que ce chiffre s'appliquerait à une industrie nucléaire complètement constituée, car le nombre de travailleurs par MW (e) an serait moins important que dans le cas cité ci-dessus, et les doses individuelles d'origine professionnelle resteraient limitées par les règlements appliqués. Par exemple, avec l'actuelle dose limite au corps d'origine professionnelle, il y aurait peu de risques de dépasser une dose engagée collective aux travailleurs de l'ordre de 1 homme-rad par MW (e) an, si, comme cela semble probable, les installations de retraitement desserviraient des capacités nucléaires de 20 000 MW (e) an par an et si l'effectif de leur personnel était de plusieurs milliers de personnes.

d) Transport. On estime que les irradiations externes dues à toutes les activités de transport ne donnent qu'une dose de 0,003 homme-rad par MW (e) an.

e) Entreposage des déchets. Le Comité tient pour acquis que la contribution à la dose collective attribuable aux opérations actuelles d'entreposage des déchets est très limitée, par rapport aux parts de cette dose imputables aux autres stades du cycle du combustible. La contribution d'origine professionnelle peut être considérée comme faisant partie de la contribution mentionnée ci-dessus au sujet du retraitement.

f) Élimination des déchets. Les autorités nationales continant à entreposer d'importantes quantités de déchets résultant de la production d'énergie nucléaire, et la méthode d'élimination de ces déchets n'étant pas arrêtée, le Comité estime ne pas être présentement en mesure de procéder à une évaluation satisfaisante de la dose engagée collective à la population mondiale causée par l'élimination de ces déchets.

g) Recherche-développement. Une partie des irradiations reçues dans les centres de recherche-développement sont imputables aux activités d'appui à l'exploitation continue ou au développement futur de l'industrie de l'énergie nucléaire. On estime à environ 1,4 homme-rad par MW (e) an la contribution due à ces irradiations professionnelles. La dose engagée collective à la population est au moins 10 fois moins grande.

89. Le total des irradiations mentionnées au paragraphe précédent est proche de 7 homme-rads par MW (e) an, avec une variation selon les tissus inférieure à 30 % de ce chiffre (la thyroïde et les poumons sont les organes qui reçoivent les doses les plus élevées, tandis que les gonades font partie des organes recevant les doses les plus faibles). Les principales contributions sont indiquées dans le tableau 2.

Tableau 2

Opérations du cycle du combustible	Dose engagée collective (homme-rad par MW (e) an)
Extraction, traitement et fabrication du combustible a) Irradiation professionnelle	0,2 - 0,3
Exploitation des réacteurs a) Irradiation professionnelle b) Irradiation de la population locale et régionale	1,0 0,2 - 0,4
Retraitement a) Irradiation professionnelle b) Irradiation de la population locale et régionale c) Irradiation de la population globale	1,2 0,1 - 0,6 1,1 - 3,3
Recherche-développement a) Irradiation professionnelle	1,4
Ensemble de l'industrie	5,2 - 8,2

Comme on le voit, ce sont les contributions d'origine professionnelle qui dominent. Cependant, pour les raisons indiquées au paragraphe 88 la contribution d'1,2 homme-rad par MW(e)an due au retraitement ne serait pas valable pour un cycle fermé de combustible intéressant l'ensemble de l'industrie nucléaire. Les activités de recherche-développement ne devraient pas non plus causer de contribution élevée dans une industrie complètement constituée. Par conséquent, la dose engagée collective totale ne devrait pas, avec la technologie actuelle, dépasser à l'avenir 3 à 6 homme-rads par MW(e)an. Etant donné la répartition par groupes d'âge des individus irradiés, on ne peut accorder d'importance génétique qu'à environ 30 % du chiffre minimum indiqué au tableau 2 pour les doses collectives dans l'ensemble de l'industrie.

5. Explosions nucléaires^{14/}

90. Depuis la publication du rapport de 1972 du Comité, plusieurs essais nucléaires ont été signalés. Parmi ceux-ci, 20 essais ont eu lieu dans l'atmosphère : six dans l'hémisphère nord, et 14 dans l'hémisphère sud. Le rapport de 1972 fournissait des estimations pour les doses engagées aux populations résultant de tous les essais qui avaient eu lieu dans l'atmosphère jusqu'à la fin de 1970. Aux fins du présent rapport, le Comité a évalué les doses engagées résultant des essais qui ont eu lieu dans l'atmosphère jusqu'à la fin de 1975. Etant donné l'augmentation de strontium-90 et de caesium-137 dans l'inventaire mondial, le Comité estime que les doses engagées se sont accrues de 2 % dans l'hémisphère nord et de 6 % dans l'hémisphère sud, à la suite des essais auxquels il a été procédé de 1971 à 1975.

^{14/} Cette question est traitée en détail dans l'annexe C (Contamination radioactive due aux explosions nucléaires).

91. Le total de la dose engagée globale due à toutes les explosions nucléaires antérieures à 1976 va d'environ 100 mrad (dans les gonades) à environ 200 mrad (dans les cellules tapissant la surface des os). Dans la zone tempérée de l'hémisphère nord, les chiffres dépassent ces estimations d'environ 50 %; dans la zone tempérée de l'hémisphère sud, ils leur sont inférieurs d'environ 50 %. Les irradiations externes dues au caesium-137 et aux nucléides émetteurs gamma à période courte représentent quelque 70 mrad de la dose engagée globale pour tous les tissus. Les irradiations internes sont dues principalement aux nucléides à période longue que sont le caesium-137 et le strontium-90 (dans le squelette). La période de ces nucléides, qui est d'environ 30 ans, déterminera le laps de temps pendant lequel ces doses pourront être reçues. Le ruthenium-106 et le cerium-144, à période plus courte, sont des facteurs importants d'irradiation du poumon.

92. Comme dans le cas de l'industrie électro-nucléaire, c'est le carbone-14 qui est à l'origine des doses engagées les plus élevées. La contribution de ce nucléide est d'environ 120 mrad pour les gonades et le poumon, et d'environ 450 mrad pour les cellules tapissant la surface des os et pour la moelle rouge des os. Ces doses seront réparties sur une période de plusieurs milliers d'années. Pour les raisons indiquées au paragraphe 86, elles ne sont pas prises en considération dans l'estimation de la dose engagée qui figure au paragraphe précédent.

93. Le total de la dose globale collective causée dans différents tissus par les essais nucléaires est de $4 \cdot 10^8$ à $8 \cdot 10^8$ homme-rads - sans tenir compte de la contribution du carbone-14 - soit l'équivalent de 16 à 24 mois d'exposition de ces tissus à des rayonnements provenant de sources naturelles normales. Si l'on tient compte de la contribution du carbone-14, la dose engagée collective atteint le double de ce chiffre.

94. L'iode-131, à période courte, est un facteur important d'irradiation de la thyroïde pendant les premières semaines suivant les explosions nucléaires. Les doses les plus élevées sont reçues par les enfants en bas âge de certaines populations consommatrices de lait frais, et, depuis 1972, les estimations de la dose annuelle à la thyroïde vont de quelques mrad à environ 200 mrad pendant ces périodes d'activité nucléaire dans l'atmosphère. La dose à la thyroïde chez les adultes est environ 10 fois plus faible.

6. Applications médicales des rayonnements^{15/}

95. Le Comité a déjà présenté, dans ses rapports de 1958, 1962 et 1972, des données sur l'irradiation médicale des malades et sur l'irradiation professionnelle reçue en conséquence. Les irradiations médicales ont un intérêt particulier, étant donné qu'elles sont à l'origine des doses les plus fortes parmi les doses individuelles non naturelles dans la population, qu'elles entraînent des taux de dose instantanée élevés et

^{15/} Cette question est traitée en détail dans l'annexe E (Doses dues à l'irradiation professionnelle) et dans l'annexe F (Irradiation médicale).

qu'à l'exception des irradiations accidentelles, ce sont elles qui causent les doses aux organes individuels les plus importantes. En outre, du point de vue de la protection, elles offrent les plus larges possibilités de réduction des doses sans perte de l'information recherchée. Elles se distinguent de beaucoup d'autres types d'irradiation; en ceci qu'elles ne portent généralement que sur des parties limitées du corps. Elles s'en distinguent également par le fait que les individus irradiés sont ceux qui peuvent espérer un avantage direct du traitement ou de l'examen subi.

96. Les rapports précédents donnaient une place particulière aux évaluations de la dose génétiquement significative annuelle (DGS). La publication de ces chiffres estimatifs ayant suscité de nouvelles études, on sait maintenant avec assez de précision dans quelle mesure les irradiations médicales contribuent à la dose génétique totale, que ce soit dans les pays en développement ou dans les pays ayant déjà atteint un niveau élevé de technologie (voir par. 99) Dans les pays en développement, l'importance de la dose génétiquement significative annuelle (DGS) dépend généralement du nombre d'installations à rayon X. Il se peut que l'expansion de ces installations soit nécessaire, avec les précautions voulues pour en garantir un usage satisfaisant, afin de répondre aux besoins en matière de santé publique. Ceci devrait avoir pour effet une augmentation de la dose génétique dans ces pays.

97. Peut-être l'importance particulière donnée à la DGS aura-t-elle détourné l'attention des irradiations d'organes autres que les gonades, provoquant ainsi une sous-estimation du risque général créé par certains types d'examens, qui causent habituellement de très faibles doses aux gonades. C'est le cas par exemple des examens du torse, qui nécessitent l'irradiation de tissus radiosensitifs tels que le poumon, le sein, la moelle et parfois la thyroïde. En conséquence, le rapport de 1972 donnait davantage de données sur la dose dans la moelle active. Ce rapport mentionnait en outre plusieurs groupes de malades, identifiés comme récepteurs de doses élevées, et chez certains desquels on avait constaté, pour certaines maladies, une incidence supérieure à l'incidence correspondante dans des groupes comparables mais non irradiés. On a cherché, aux fins du présent rapport, à préciser les examens qui peuvent être causes de doses élevées dans certains organes. On s'est également efforcé de donner une image plus complète de la répartition de la dose chez les malades, en fournissant des données sur les doses dans des tissus radiosensitifs tels que la moelle osseuse, la thyroïde, le poumon et le sein.

98. En présentant des données sur les niveaux de dose dus aux traitements médicaux, le Comité poursuit trois objectifs : en premier lieu, il est intéressant de connaître les doses aux organes individuels provoquées par divers types d'irradiations médicales, et en particulier la variation de ces doses, pour s'efforcer d'évaluer les risques encourus par rapport à l'avantage espéré par le malade et pour procéder à l'analyse différentielle coût-bénéfice des mesures de protection. En second lieu, il peut être utile de connaître les doses individuelles et collectives aux organes correspondant à diverses méthodes de traitement, pour mieux présenter l'exposition totale de l'homme aux irradiations. En troisième lieu, on espère par là identifier certains groupes particulièrement exposés, qui peuvent présenter un intérêt pour les études épidémiologiques. La dose collective est utile à cette fin.

99. Les doses individuelles aux malades doivent être décidées par le praticien, en fonction de l'intérêt du patient et de l'utilité du diagnostic ou du traitement. En d'autres termes, la dose aux organes et aux tissus du patient peut aller de doses parfaitement insignifiantes jusqu'à des doses élevées, capables de causer un dommage localisé aux tissus proches de la partie du corps traitée, lorsque le but poursuivi est la destruction d'une tumeur par irradiation. Les doses individuelles dues aux irradiations médicales se composent donc de niveaux de dose et de distributions de dose extrêmement divers selon les cas individuels. Cependant, les principales contributions aux doses individuelles viennent de types d'irradiations intéressant un grand nombre d'individus, comme dans le cas de certains examens diagnostiques à rayons X. Dans les cas de ce genre, les doses individuelles annuelles aux tissus qui présentent un intérêt pour le Comité sont d'un ordre de grandeur à peu près similaire et vont de 50 à 100 mrad par an dans beaucoup de pays techniquement développés, la dose génétiquement significative étant souvent équivalente à la moitié environ de la dose individuelle aux gonades. Il s'ensuit que la dose collective annuelle due aux traitements médicaux est de l'ordre de $5 \cdot 10^4$ à 10^5 homme-rads par million d'habitants dans les pays à équipement radiologique complet, et qu'elle est estimée à 10^3 homme-rads dans les pays à équipement limité.

100. Dans tous les pays qui ont communiqué des renseignements au Comité, la surveillance des doses aux spécialistes des applications médicales des rayonnements ou des substances radioactives est exercée par divers organismes, allant de l'hôpital au service spécialisé de surveillance du personnel. Les résultats sont généralement communiqués à l'employeur, mais rarement collationnés de façon systématique. Aussi est-il difficile de veiller à ce que les données relatives aux doses réunies par le Comité soient complètes et représentatives. On estime que les irradiations professionnelles du personnel médical correspondent à une dose collective annuelle de l'ordre de 10^2 homme-rads par million d'habitants.

101. La contribution de l'irradiation professionnelle à la dose collective due aux applications médicales des rayonnements est donc insignifiante, comparée à celle de l'irradiation des patients. La dose collective globale imputable annuellement aux traitements médicaux peut être évaluée à environ $5 \cdot 10^7$ homme-rads dans les pays à équipement radiologique complet, et à $2 \cdot 10^6$ homme-rads dans les pays à équipement radiologique limité.

7. Résumé des doses engagées globales dues aux diverses sources de rayonnements

102. Le tableau 3 résume les estimations de doses engagées globales à l'ensemble du corps dues aux diverses sources et activités examinées dans le présent rapport. Chacune de ces doses engagées est exprimée par la durée d'exposition de la population mondiale au rayonnement naturel qui causerait la même dose engagée^{16/}

103. Si l'on suppose que l'augmentation du risque est proportionnelle à l'augmentation de la dose, les contributions relatives des diverses sources au dommage total seraient proportionnelles aux doses engagées globales indiquées dans le tableau 3. Cependant, le Comité

^{16/} Les périodes à considérer dans l'évaluation des doses engagées sont examinées à l'annexe A et l'on trouvera des précisions concernant les différentes rubriques dans les annexes correspondantes, où les calculs sont présentés.

tient à souligner que toute comparaison fondée sur les chiffres du tableau 3 risque d'être erronée, si l'on ne tient pas compte des précisions apportées plus haut dans le présent rapport. En particulier, les doses engagées dues aux pratiques futures dépendront du progrès des techniques et de l'évolution des réglementations correspondantes, qui sont l'un et l'autre difficiles à prévoir.

Tableau 3

Doses engagées globales dues aux diverses sources de rayonnements

Source d'irradiation	Dose engagée globale (en jours) <u>a/</u>
Un an d'exposition aux sources naturelles	365
Un an de transport commercial aérien	0,4
Application d'un an de production d'engrais phosphatés, au taux de production actuel	0,04
Un an de production globale d'énergie électrique par les centrales thermiques, au niveau actuel de capacité installée globale (10^6 MW (e))	0,02
Un an d'exposition aux produits de consommation émetteurs de rayonnements	3
Un an de production d'énergie nucléaire, au niveau actuel de capacité installée globale (8×10^4 MW (e))	0,6
Un an d'explosions nucléaires, au taux moyen de la période 1951-1976	30
Un an d'utilisation des rayonnements pour les diagnostics médicaux.	70

a/ La dose engagée globale est exprimée par la durée de l'exposition de la population mondiale au rayonnement naturel qui causerait la même dose engagée. La part de l'irradiation professionnelle est comprise dans ce chiffre.

104. La contribution non naturelle la plus élevée à la dose globale collective est due aux applications médicales des rayonnements, et en particulier aux procédés diagnostiques par rayons X. Il est important pour beaucoup de pays de développer leur équipement radio-médical, mais ce développement s'accompagnera d'une augmentation de la dose engagée dans ces pays. Il est d'ailleurs également important que l'irradiation des patients soit maintenue au minimum requis pour les fins médicales recherchées (par. 95 à 101).

105. La production d'énergie nucléaire est soumise à des réglementations nationales, généralement inspirées de principes internationalement acceptés. La dose engagée globale correspond à 0,6 jour d'irradiation naturelle, pour un an de production d'énergie au niveau actuel de capacité installée, soit 80 000 MW(e). En supposant une technologie nucléaire identique à la technologie actuelle, un an de production d'énergie au niveau de capacité installée prévu pour l'an 2000, soit 2×10^6 MW(e), causerait une dose engagée globale équivalente à environ 15 jours d'irradiation naturelle.

106. La dose engagée collective due aux explosions nucléaires de 1976 équivaut à environ deux ans d'irradiation naturelle, compte non tenu de la contribution du carbone-14. Si l'on ajoute cette contribution, la dose engagée collective est deux fois plus élevée. Les contributions dues aux explosions qui ont eu lieu dans l'atmosphère depuis 1970, c'est-à-dire après la période qui faisait l'objet du rapport précédent du Comité, ont augmenté les doses engagées dues au strontium-90 et au caesium-137 d'environ 2 % pour l'hémisphère nord, et d'environ 6 % pour l'hémisphère sud.

Appendice I

LISTE DES SPECIALISTES, MEMBRES DE DELEGATIONS NATIONALES

On trouvera ci-après la liste des spécialistes, membres de délégations nationales aux sessions du Comité, qui ont pris part à l'élaboration du présent rapport.

ALLEMAGNE, REPUBLIQUE FEDERALE D'

M. F. E. Stieve (Représentant)
M. U. H. Ehling
M. W. Jacobi
M. H. Kriegel
M. L. Rausch

ARGENTINE

M. D. Cancio (Représentant)
M. A. E. Placer (Représentant)
M. C. A. Menossi

AUSTRALIE

M. J. R. Moroney (Représentant)
M. D. J. Stevens (Représentant)
M. R. J. Walsh
M. C. N. Watson-Munro

BELGIQUE

M. F. H. Sobels (Représentant)
M. J. B. T. Aten

BRESIL

M. L. R. Caldas (Représentant)
M. E. Penna-Franca

CANADA

M. G. C. Butler (Représentant)
M. A. H. Booth
M. W. R. Bush
M. E. C. Rotschild
M. B. K. Trimble

EGYPTE

M. M. E. A. El-Kharadly

ETATS-UNIS D'AMERIQUE

M. R. H. Chamberlain (Représentant)
M. R. D. Moseley (Représentant)
M. R. Baker
M. A. M. Brues
M. H. D. Bruner
M. J. H. Harley
M. F. Lowman
M. H. Rossi
M. W. L. Russell
M. W. K. Sinclair
M. A. C. Upton
M. H. O. Wyckoff

FRANCE

M. H. Jammet (Représentant)
M. R. Coulon
M. B. H. Dutrillaux
M. C. Lafuma
M. P. Pellerin

INDE

M. A. R. Gopal-Ayengar (Représentant)
M. K. Sundaram (Représentant)

INDONESIE

M. A. Baiquni (Représentant)
M. K. Tadjudin (Représentant).

JAPON

M. K. Misono (Représentant)
M. R. Ichikawa
M. N. Ito
M. S. Nakai
M. Y. Tazima

MEXIQUE

M. M. Martinez-Baez (Représentant)
M. J. R. Ortiz-Magana (Représentant)
M. A. L. de Garay
Mme Rebeca Magidin de Nulman

PEROU

M. C. Guzman-Acevedo (Représentant)

POLOGNE

M. Z. Jaworowski (Représentant)

ROYAUME-UNI DE GRANDE-BRETAGNE ET D'IRLANDE DU NORD

Sir Edward Pochin (Représentant)
M. D. Carter
M. H. J. Dunster
M. F. Morley
M. A. G. Searle

SOUDAN

M. A. Hidayatalla (Représentant)

SUEDE

M. B. Lindell (Représentant)
M. S. Bergström
M. K. Edvarson
M. K. G. Lfning
M. J. O. Snihs
Mme Evelyn Sokolowski
M. G. Walinder

TCHÉCOSLOVAQUIE

M. M. Klimek (Représentant)

UNION DES RÉPUBLIQUES SOCIALISTES SOVIÉTIQUES

M. A. M. Kuzin (Représentant)
M. R. Alexakhin
Mme Angelina Gouskova
M. L. Ilyin
M. A. Moiseev
M. M. M. Saurov

Appendice II

LISTE DES MEMBRES DU PERSONNEL SEPCIALISE
ET DES CONSULTANTS QUI ONT COLLABORE AVEC LE COMITE
POUR L'ELABORATION DU RAPPORT

M. D. Beninson
M. B. G. Bennett
M. A. Bouville
Mme Pamela M. Bryant
M. R. E. Ellis
M. B. Lindell
M. J. Liniecki
M. W. M. Lowder
M. V. Lyscov
M. B. J. O'Brien
Sir Edward Pochin
M. K. Sankaranarayanan
M. Dr. W. Schittmann
M. G. Silini
M. J. O. Snihs
M. G. A. M. Webb

Appendice III

LISTE DES RAPPORTS RECUS PAR LE COMITE

1. On trouvera ci-après la liste des rapports que le Comité a reçus des gouvernements et des organismes des Nations Unies entre le 25 mars 1972 et le 12 avril 1977.
2. Les rapports reçus par le Comité avant le 24 mars 1972 étaient indiqués dans les annexes aux précédents rapports du Comité à l'Assemblée générale.

Cote du document	Pays et titre
<hr/>	
A/AC.82/G/L.	
ETATS-UNIS D'AMERIQUE	
1411	Global inventory and distribution of Pu-238 from SNAP-9A, March 1, 1972, HASL-250
ARGENTINE	
1412	Radio-226 en el hombre.
1413	Compilacion de los Resultados del Monitoraje de Sr-90 y Cs-137 debidos al fallout en la Republica Argentina.
1114	Estudio de un caso de irradiacion humana accidental.
ETATS-UNIS D'AMERIQUE	
1415	Fall-out program quarterly summary report, April 1, 1972, HASL-249.
1415/Add.1	Appendix to HASL-249.
NOUVELLE-ZELANDE	
1416	Annual report for the year 1969.
1417	Annual report for the year 1970.
1418	Environmental radiactivity in New Zealand : quarterly report July-September 71 and Pacific Area Monitoring 31 August-31 October 1971.
SUEDE	
1419	Radiostrontium-induced carcinomas of the external ear.
1420	Effect of different doses of ⁹⁰ Sr on the ovaries of the foetal mouse.
1421	Pathologic effects of different doses of radiostrontium in mice development and incidence of leukaemia.
1422	Protective effect of cysteamine at fractionated irradiation. III. Histopathologic diagnoses at death.

AUSTRALIE

- 1423 Fall-out over Australia from nuclear weapons tested by France in Polynesia from June to August, 1971.

ETATS-UNIS D'AMERIQUE

- 1424 Fall-out program quarterly summary report, July 1, 1972
HASL-257.
- 1424/Add.1 Appendix to HASL-257.

SUISSE

- 1425 Quinzième rapport de la Commission fédérale de la radioactivité pour l'année 1971, à l'intention du Conseil fédéral.

ETATS-UNIS D'AMERIQUE

- 1426 HASL-300 "HASL Procedures Manual".
- 1426/Add.1 Supplement to HASL-300 "HASL Procedures Manual".
- 1426/Add.2 Supplement to HASL-300 "HASL Procedures Manual".

NOUVELLE-ZELANDE

- 1427 Environmental radioactivity in New Zealand quarterly report, April-June 1971, and Pacific Area Monitoring 4 June-31 August 1971. (NRL-F/45).

ROYAUME-UNI DE GRANDE-BRETAGNE ET D'IRLANDE DU NORD

- 1428 Agricultural Research Council - Letcombe Laboratory. Annual report 1971.

ETATS-UNIS D'AMERIQUE

- 1429 Studies of the mortality of A-bomb survivors.

SUISSE

- 1430 Douzième rapport de la Commission fédérale de la radioactivité pour l'année 1968, à l'intention du Conseil fédéral.

ETATS-UNIS D'AMERIQUE

- 1431 Fall-out program quarterly summary report, October 1, 1972
HASL-259.
- 1431/Add.1 Appendix to HASL-259.
1432. Index to fall-out program quarterly summary reports, October 1, 1972,
HASL-266.

NOUVELLE-ZELANDE

- 433 Fall-out from nuclear weapons tests conducted by France in the South Pacific from June to August 1971. (NRL-F/47).
- 434 Annual report for the year 1971. (NRL-AR/22).

- JAPON
- 1435 Radioactivity survey data in Japan. No. 34. February 1972.
- NOUVELLE-ZELANDE
- 1436 Environmental radioactivity. Annual report 1971. (NRL-F/48).
- ETATS-UNIS D'AMERIQUE
- 1437 Fall-out program quarterly summary report, January 1, 1973, HASL-268.
- 1437/Add.1 Appendix to HASL-268.
- ITALIE
- 1438 Data on environmental radioactivity collected in Italy (January-December 1969).
- ROYAUME-UNI DE GRANDE-BRETAGNE ET D'IRLANDE DU NORD
- 1439 Radioactive fall-out in air and rain. Results to the middle of 1972.
- ETATS-UNIS D'AMERIQUE
- 1440 Fall-out program quarterly summary report, April 1, 1973, HASL-273.
- 1440/Add.1 Appendix to HASL-273.
- JAPON
- 1441 Radioactivity survey data in Japan. No. 36. August 1972.
- AUSTRALIE
- 1442 Strontium-90 and Caesium 137 in the Australian environment during 1970 and some results for 1971.
- 1443 Fall-out over Australia from nuclear weapons tested by France in Polynesia during June and July 1972.
- FRANCE
- 1444 Surveillance de la radioactivité en 1972.
- ROYAUME-UNI DE GRANDE-BRETAGNE ET D'IRLANDE DU NORD
- 1445 Radioactivity in human diet in the United Kingdom, 1972.
- 1446 Assay of strontium-90 in human bone in the United Kingdom. Results for 1970.
- ETATS-UNIS D'AMERIQUE
- 1447 Fall-out program quarterly summary report, July 1, 1973, HASL-274.
- 1447/Add.1 Appendix to HASL-274.

- JAPON
- 1448 Radioactivity survey data in Japan. No. 37. November 1972.
- ETATS-UNIS D'AMERIQUE
- 1449 Fall-out program quarterly summary report, October 1, 1973, HASL-276.
- 1449/Add.1 Appendix to HASL-276.
- SUISSE
- 1450 Seizième rapport de la Commission fédérale de la radioactivité pour l'année 1972, à l'intention du Conseil fédéral.
- AUSTRALIE
- 1451 Data on levels of radioactivity in Australia, 1971-1973.
- ETATS-UNIS D'AMERIQUE
- 1452 Fall-out program quarterly summary report, January 1, 1974, HASL-278.
- 1452/Add.1 Appendix to HASL-278.
- UNION DES REPUBLIQUES SOCIALISTES SOVIETIQUES
- 1453 К вопросу о возможности использования анализа волос для определения полония-210 в костной ткани и печени человека.
- 1454 К вопросу о поведении цезия-137 в дерново-подзолистых почвах украинсково полесья.
- 1455 Весовые показатели развития скелета плода человека и содержание в нем стронция и кальция.
- 1456 О взаимодействии радиоактивных изотопов с органическим веществом почвы.
- 1457 Миграция стронция-90 и цезия-137 в почвенно-растительном покрове конечноморенных ландшафтов.
- 1458 Скорость выпадения аэрозолей цезия-137 и стронция-90 из атмосферы.
- 1459 Миграция глобальных цезия-137 и стронция-90 по пищевым цепочкам населения отдельных районов украинсково полесья.

- 1460 Радиоактивность внешней среды, пищевых продуктов и организма человека на Украине в период 1962-1969 гг.
- 1461 Свинец-210, полоний-210, радий-226, торий-228 и плутоний-239 в цепочке лишайник-олень-человек на крайнем севере СССР.
- 1462 Относительная подвижность, состояние и формы нахождения стронция-90, стабильного стронция и кальция в почвах.
- 1463 Долгоживущие искусственные и естественные радиоизотопы в зерне сельскохозяйственных культур в Подмосквье.
- 1464 Состояние и формы нахождения радиоизотопов в глобальных выпадениях.
- 1465 Содержание стронция-90 в костной ткани взрослых и в зубах лиц разного возраста.
- 1466 О связи стронция-90 с различными фракциями органического вещества почв.
- 1467 Всасывание свинца-210 и полония-210 в желудочно-кишечном тракте у крысы и человека.
- 1468 Естественные радиоактивные изотопы в морской рыбе и воде.
- 1469 О миграции стронция-90 и цезия-137 в почвах.
- 1470 Ландшафтно-геохимические аспекты поведения стронция-90 в лесных и пойменных биогеоценозах полесий.
- 1471 Водная миграция стронция-90.
- 1472 Оценка популяционной дозы внутреннего облучения некоторых народностей крайнего севера Советского Союза от глобального цезия-137.
- 1473 Концентрация стронция-90 в продуктах питания и поступление его с пищевым рационом населению Грузинской ССР в результате стратосферных выпадений.
- 1474 Распределение радиоактивных изотопов в системе водохранилища.
- ROYAUME-UNI DE GRANDE-BRETAGNE ET D'IRLANDE DU NORD
- 1475 Radioactive fall-out in air and rain. Results to the middle of 1973.

NOUVELLE-ZELANDE

- 1476 Environmental radioactivity . Fall-out from nuclear weapons tests conducted by France in the South Pacific during July and August 1973 and comparisons with previous test series.

ETATS-UNIS D'AMERIQUE

- 1477 Serum immunoglobulin levels in atomic bomb survivors in Hiroshima, Japan.
- 1478 Spleen index in atomic bomb survivors.
- 1479 The health of atomic bomb survivors: a decade of examinations in a fixed population.
- 1480 Fall-out program quarterly summary report, April 1, 1974, HASL-281.
- 1480/Add.1 Appendix to HASL-281.

ROYAUME-UNI DE GRANDE-BRETAGNE ET D'IRLANDE DU NORD

- 1481 Radioactivity in human diet in the United Kingdom, 1973

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE

- 1482 Extracts from the Agency's programme for 1975-80 and Budget for 1975. (GC(XVIII)/526).
- 1483 Annual report 1 July 1973-30 June 1974. (GC/XVIII)/525).

NOUVELLE-ZELANDE

- 1484 Monitoring of radioactive fall-out from the 1974 French South Pacific nuclear tests.

FRANCE

- 1485 Surveillance de la radioactivité en 1973.

NOUVELLE-ZELANDE

- 1486 Fall-out from nuclear weapons tests conducted by France in the South Pacific during June and July 1972 and comparisons with previous test series.
- 1487 Environmental radioactivity. Annual report 1972.
- 1488 Environmental radioactivity. Annual report 1973.

ARGENTINE

- 1489 Fall-out radioactivo debido a las explosiones en el Pacifico Sur en el período enero-octubre de 1973.
- 1490 Fall-out radioactivo debido a las explosiones en el Pacifico Sur en el período 1971-1972.
- 1491 Monitoraje de Sr-90 y Cs-137 debidos al fallout en República Argentina.

- 1492 Estudio comparativo del metabolismo, en ratas, del plomo 210 y del polonio 210.
- 1493 Incorporación de radioestroncio por organismos marinos.
- TCHECOSLOVAQUIE
- 1494 Values of ^{90}Sr in vertebrae and femoral diaphysis of adults in Czechoslovakia in 1971.
- 1495 The values of the ratio ^{90}Sr in vertebrae/ ^{90}Sr in diaphysis in different age groups. (Czechoslovakia 1969, 1970, 1971).
- NOUVELLE-ZELANDE
- 1496 Fall-out from French nuclear tests in the South Pacific, 1974.
- AUSTRALIE
- 1497 Data from the Australian fall-out monitoring programs.
- UNION DES REPUBLIQUES SOCIALISTES SOVIETIQUES
- 1498 Коэффициенты распределения радиоизотопов между твердой и жидкой фазами в водоемах.
- 1499 Оптимальная интерпретация измерений радиоактивности океана.
- 1500 Дозовая нагрузка на мышевидных грызунов, обитающих на участках повышенной естественной радиоактивности.
- 1501 Влияние неразделенной смеси продуктов ядерного деления на реакции иммунитета.
- 1502 Содержание стронция-90 и цезия-137 в пищевом рационе населения Советского Союза в 1967-1969 гг.
- 1503 Определение генетически значимых доз за счет медицинской рентгенологии в Иркутске.
- 1504 Иммунологические реакции при сочетанном действии на экспериментальных животных внешнего облучения и инкорпорированных радиоизотопов.
- ETATS-UNIS D'AMERIQUE
- 1505 Fall-out program quarterly summary report, July 1, 1974, HASL-284.
- 1505/Add.1 Appendix to HASL-284.

- 1506 Fall-out program quarterly summary report, October 1, 1974, HASL-286.
- 1506/Add.1 Appendix to HASL-286.
- ROYAUME-UNI DE GRANDE-BRETAGNE ET D'IRLANDE DU NORD
- 1507 Radioactive fall-out in air and rain: results to the middle of 1974.
- JAPON
- 1508 Radioactivity survey data in Japan. No. 38. November 1973.
- 1509 Radioactivity survey data in Japan. No. 39. September 1974.
- FRANCE
- 1510 Statistical study on 17 000 workers exposed to ionizing radiation during 1973.
- BELGIQUE
- 1511 La radioactivité mesurée à Mol. Année 1970.
- 1512 La radioactivité mesurée à Mol. Année 1971.
- NOUVELLE-ZELANDE
- 1513 Environmental radioactivity:fall-out from nuclear weapons tests conducted by France in the South Pacific from June to September 1974 and comparisons with previous test series.
- ETATS-UNIS D'AMERIQUE
- 1514 Autopsy study of blast crisis in patients with chronic granulocytic leukaemia, Hirsoshima and Nagasaki, 1949-1969.
- 1515 Mortality in children of atomic bomb survivors and controls.
- 1516 Fall-out program quarterly summary report, January 1, 1975, HASL-288.
- 1516/Add.1 Appendix to HASL-288.
- 1517 Environmental quarterly, April 1, 1975, HASL-291.
- 1517/Add.1 Appendix to HASL-291.
- 1518 Index to fall-out program quarterly summary reports, April 1, 1975, HASL-292.
- 1519 Epidemiologic studies of coronary heart disease and stroke in Japanese men living in Japan, Hawaii and California: demographic, physical, dietary and biochemical characteristics.

- 1520 Environmental quarterly, July 1, 1975, HASL-294.
 1520/Add.1 Appendix to HASL-294.
- FRANCE
- 1521 Surveillance de la radioactivité en 1974.
 ALLEMAGNE, REPUBLIQUE FEDERALE D'
- 1522 Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1973.
 ROYAUME-UNI DE GRANDE-BRETAGNE ET D'IRLANDE DU NORD
- 1523 Radioactivity in human diet in the United Kingdom, 1974.
 ETATS-UNIS D'AMERIQUE
- 1524 Environmental quarterly, October 1, 1975, HASL-297.
 1524/Add.1 Appendix to HASL-297.
- 1525 Environmental quarterly, January 1, 1976, HASL-298.
 1525/Add.1 Appendix to HASL-298.
- NOUVELLE-ZELANDE
- 1526 Environmental radioactivity. annual report 1974.
 ETATS-UNIS D'AMERIQUE
- 1527 A review of thirty years of study of Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors.
- 1528 Environmental quarterly, April 1, 1976, HASL-302.
 JAPON
- 1529 annulé
- 1530 annulé
- 1531 Estimation of population doses from diagnostic medical examinations in Japan, 1974 (1 to 4).
1532. Estimation of population doses from brachytherapy in Japan.
 SUISSE
- 1533 Dix-huitième rapport de la Commission fédérale de la radioactivité à l'intention du Conseil fédéral, pour l'année 1974.
 ROYAUME-UNI DE GRANDE-BRETAGNE ET D'IRLANDE DU NORD
- 1534 Radioactive fall-out in air and rain: results to the end of 1975.

UNION DES REPUBLIQUES SOCIALISTES SOVIETIQUES

- 1535 Методический подход к оценке дозовых нагрузок от остеотропных изотопов с учетом изменения параметров обмена в процессе роста организма.
- 1536 Исследование и нормирование радиоактивности строительных материалов.
- 1537 Материалы к нормированию и нормативы предельно допустимых поступлений радиоактивных изотопов иода в организм человека

ETATS-UNIS D'AMERIQUE

- 1538 Environmental quarterly, July 1, 1976, HASL-306.
- 1538/Add.1 Appendix to HASL-306.

ROYAUME-UNI DE GRANDE-BRETAGNE ET D'IRLANDE DU NORD

- 1539 Radioactivity in human diet in the United Kingdom, 1975.

FRANCE

- 1540 Surveillance de la radioactivité en 1975.

JAPON

- 1541 Radioactivity survey data in Japan. No. 40. November 1975.

ETATS-UNIS D'AMERIQUE

- 1542 Environmental quarterly, October 1, 1976, HASL-308.
- 1542/Add.1 Appendix to HASL-308.

ALLEMAGNE, REPUBLIQUE FEDERALE D'

- 1543 Environmental radioactivity and radiation levels in 1974.
- 1544 Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1974.

NOUVELLE-ZELANDE

- 1545 Environmental radioactivity: annual report 1975. (NRL-F/55).

SUISSE

- 1546 Dix-neuvième rapport de la Commission fédérale de la radioactivité pour l'année 1975, à l'intention du Conseil fédéral.

TCHECOSLOVAQUIE

- 1547 The values of the ratio ^{90}Sr in vertebrae/ ^{90}Sr in diaphysis in different age groups.

ETATS-UNIS D'AMERIQUE

- 1548 Environmental quarterly, January 1, 1977, HASL-315.
1548/Add.1 appendix to HASL-315.

ROYAUME-UNI DE GRANDE-BRETAGNE ET D'IRLANDE DU NORD

- 1549 The data submitted by the United Kingdom to UNSCEAR for the 1977 report to the General Assembly.

UNION DES REPUBLIQUES SOCIALISTES SOVIETIQUES

- 1550 Кинетика процессов поражения-восстановления, развивающихся в эмбрионах пресноводных рыб при инкубации их в радиоактивной среде.
- 1551 Некоторые особенности миграции стронция-90 по пищевым цепям в условиях крайнего севера.
- 1552 Радиоактивность внешней среды и пищевых продуктов на территории УССР в 1970-1974 гг.
- 1553 О влиянии пестицидной (ддт) интоксикации на кинетику обмена и натрия в организме крыс.
- 1554 Содержание трития в жидких средах и воздухе рабочих помещений АЭС СССР.
- 1555 Цезий-137 и стронций-90 в цепочке лишайник - олень человека на крайнем севере СССР.
- 1556 Стронций-90 глобальных выпадений в кости ткани населения Советского Союза за 1970-1973 гг.
- 1557 Содержание стронция-90 и цезия-137 глобального происхождения в пищевом рационе населения Советского Союза в 1970-1973 гг.
- 1558 Естественные радиоактивные нуклиды в пахотных почвах и фосфорсодержащих удобрениях.
- 1559 Влияние гормона паразитовидных желез на возникновение лучевых остеосарком.
- 1560 Метаболизм некоторых соединений углерода-14 в организме животных и подход к проблеме нормирования.

كيفية الحصول على منشورات الأمم المتحدة

يمكن الحصول على منشورات الأمم المتحدة من المكتبات ودور التوزيع في جميع أنحاء العالم. استلم منها من المكتبة التي تتعامل معها أو اكتب إلى: الأمم المتحدة، قسم البيع في نيويورك أو في جنيف.

如何购取联合国出版物

联合国出版物在全世界各地的书店和经营处均有发售。请向书店询问或写信到纽约或日内瓦的联合国销售组。

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 libraire 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 casas distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o diríjase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.
