

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

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

DOCUMENTS OFFICIELS : TRENTE-SEPTIÈME SESSION

SUPPLÉMENT N° 45 (A/37/45)



NATIONS UNIES

New York, 1982

NOTE

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

TABLE DES MATIERES

	<u>Paragraphes</u>	<u>Pages</u>
I. INTRODUCTION	1 - 10	1
II. RESUME DES PRINCIPALES CONCLUSIONS	11 - 52	3
A. EVALUATIONS DES NIVEAUX ET DOSES DE RAYONNEMENT	12 - 39	3
1. Sources naturelles	15 - 19	3
2. Sources non naturelles	20 - 39	4
B. PROGRES DE LA RADIOBIOLOGIE	40 - 62	10
1. Effets génétiques	43 - 48	10
2. Effets somatiques	49 - 62	11
III. CORPS DU RAPPORT	63 - 235	15
A. QUANTITES ET UNITES	64 - 70	15
B. NIVEAUX ET DOSES DE RAYONNEMENT	71 - 169	16
1. Modèles d'évaluation de dose	71 - 77	16
2. L'exposition au rayonnement naturel, y compris les sources technologiquement modifiées et les produits de consommation émetteurs de rayonnements	78 - 116	19
3. L'irrigation due aux explosions nucléaires	117 - 123	29
4. L'irradiation due à la production d'énergie nucléaire	124 - 138	31
5. L'irradiation professionnelle	139 - 145	36
6. L'irradiation médicale	146 - 156	38
7. Résumé et conclusions	157 - 169	40
C. LES EFFETS DES RAYONNEMENTS	170 - 235	44
1. Les effets génétiques des rayonnements	170 - 188	44
2. Les effets non stochastiques de l'irradiation sur les tissus normaux	189 - 206	50
3. Réduction de la durée de la vie due aux rayonnements	207 - 221	55
4. Les effets biologiques des rayonnements, agissant en conjonction avec d'autres agents	222 - 232	58
5. Résumé et conclusions	233 - 235	60

APPENDICES

- I. Liste des membres des délégations nationales
- II. Liste des fonctionnaires et des consultants scientifiques qui ont collaboré avec le Comité dans la rédaction du présent rapport
- III. Liste des rapports reçus par le Comité

I. INTRODUCTION

1. Depuis qu'il a été créé en 1955, le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants 1/ présente chaque année un rapport à l'Assemblée générale et, de temps à autre, il lui soumet un rapport plus complet, avec des annexes scientifiques détaillées 2/. Le présent rapport est le huitième de cette série. Il se compose d'un résumé et d'un texte principal, qui contient les conclusions dégagées par le Comité dans ses travaux, ainsi que de 12 annexes scientifiques où les procédures et l'information scientifique qui ont permis d'aboutir à ces conclusions sont décrites de façon très détaillée.

2. Si le Comité s'est efforcé d'examiner systématiquement toutes les questions portées à son attention, le présent rapport ne traite pas de toutes les sources d'irradiation ni de tous les effets de l'exposition. Compte tenu des travaux antérieurs, le présent rapport est axé davantage sur les questions que le Comité a jugé nécessaire d'examiner en raison des progrès des connaissances scientifiques en la matière. C'est pourquoi certaines annexes ne sont qu'une mise à jour du texte de 1977; d'autres sont des versions profondément remaniées, après des années de travail; d'autres enfin portent sur des questions qui sont examinées en détail pour la première fois.

3. Selon la pratique habituelle, seuls le résumé et le texte principal du rapport sont présentés à l'Assemblée générale. L'ensemble du rapport, avec annexes scientifiques, est publié séparément 3/ et sera largement diffusé dans les milieux scientifiques, qui ont considéré les précédents rapports du Comité comme des sources dignes de foi, d'informations et d'éléments d'évaluation objective. Le Comité tient à souligner que c'est uniquement pour plus de commodité que le texte principal du rapport a été séparé des annexes scientifiques. Les pièces justificatives reproduites dans les annexes à l'appui des conclusions du Comité sont de la plus haute importance.

4. Le présent rapport a été établi pendant les vingt-septième à trente et unième sessions du Comité. A la vingt-septième session, M. Klímek (Tchécoslovaquie), F.E. Stieve (République fédérale d'Allemagne) et K. Sundaram (Inde) ont exercé les fonctions de président, vice-président et rapporteur respectivement. Ces charges ont été remplies par F.E. Stieve (République fédérale d'Allemagne), Z. Jaworowski (Pologne) et D. Beninson (Argentine) aux vingt-huitième et vingt-neuvième sessions. Enfin, lors des trentième et trente et unième sessions, Z. Jaworowski (Pologne), D. Beninson (Argentine) et T. Kumatori (Japon) ont été président, vice-président et rapporteur respectivement. Toutes ces sessions ont eu lieu à Vienne.

5. Le Comité a tenu des réunions de spécialistes; ceux-ci, en qualité de représentants officiels ou de conseillers scientifiques des délégations nationales, ont examiné et modifié les documents de travail établis par le Secrétariat à la demande du Comité. On trouvera à l'appendice I ci-après la liste des spécialistes qui ont participé à une ou plusieurs sessions du Comité pendant l'établissement du présent rapport.

6. 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. Le Comité est très reconnaissant pour leur collaboration et leurs conseils techniques.
7. Les informations que le secrétariat du Comité a reçues entre le 23 avril 1977 et le 26 mars 1982 des Etats Membres de l'Organisation des Nations Unies, membres des institutions spécialisées et de l'Agence internationale de l'énergie atomique ainsi que les rapports qu'il a reçus de ces organisations sont énumérés à l'appendice III. Les rapports reçus avant cette période avaient été signalés dans les précédents rapports à l'Assemblée générale. Le Comité a obtenu toutes ces données par les voies officielles et il les a complétées et interprétées à la lumière de nombreuses informations parues dans des publications scientifiques publiques. Dans quelques cas - très peu nombreux - des communications personnelles inédites ou des informations fournies par des individus et des organisations suite à des demandes précises du Comité ont été utilisées. Le Comité tient à exprimer sa gratitude pour ces contributions.
8. Les représentants de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), de la Commission internationale de protection contre les radiations (CIPR) et de la Commission internationale des unités et mesures radiologiques (CIUMR) ont assisté aux sessions du Comité pendant la période considérée. Le Comité leur exprime sa gratitude pour leur contribution à ses travaux et à l'établissement du présent rapport.
9. Conformément à son mandat, le Comité a établi des plans pour poursuivre l'examen des niveaux de rayonnements auxquels la population mondiale est exposée ou pourrait être exposée à l'avenir ainsi que des conséquences et des risques qui pourraient en résulter. Le Comité se propose d'examiner avec le plus grand soin les problèmes qui, en raison de leur intérêt scientifique ou de leur importance pratique, s'avéreront mériter une attention particulière. Il estime que ces études seront également très utiles aux travaux du Programme des Nations Unies pour l'environnement, avec lequel il a l'intention de maintenir des relations de travail étroites.
10. On trouvera dans les sections suivantes un résumé des principales conclusions dégagées par le Comité dans le présent rapport, à la lumière des rapports détaillés précédents ainsi qu'un examen approfondi des résultats des études effectuées dans certains domaines précis, aussi bien en physique qu'en biologie.

II. RESUME DES PRINCIPALES CONCLUSIONS

11. LE PRESENT RAPPORT A ETE CONCU DE FACON A POUVOIR ETRE LU A DIFFERENTS NIVEAUX DE COMPLEXITE, AVEC PLUS OU MOINS DE DETAILS. LE PRESENT CHAPITRE EST UN RESUME DES CONCLUSIONS LES PLUS IMPORTANTES DES ETUDES APPROFONDIES EFFECTUEES DANS DIVERS DOMAINES, COMPTE TENU NOTAMMENT DES RAPPORTS ANTERIEURS A L'ASSEMBLEE GENERALE. GRACE A DES EVALUATIONS D'ENSEMBLE DETAILLEES, IL MET EN LUMIERE LES PRINCIPALES TENDANCES QUI SE SONT DEGAGEES AU FIL DES ANS.

A. Evaluations des niveaux et doses de rayonnement

12. Dans le présent rapport de même que dans les rapports précédents, le Comité a examiné systématiquement toutes les sources des rayonnements ionisants auxquelles l'homme est exposé : sources naturelles, explosions nucléaires, production d'énergie nucléaire, utilisation des rayonnements à des fins médicales, industrielles et scientifiques et produits de consommation émetteurs de rayonnements. On a examiné aussi bien les irradiations professionnelles (subies pendant le travail) que non professionnelles. Pour chaque source, les résultats sont donnés de deux façons : d'une part en doses individuelles, qui montrent, du point de vue de l'individu, l'importance relative du type de travail, du lieu de résidence ou du mode de vie; d'autre part en doses collectives, qui sont la somme des doses individuelles résultant d'une source donnée et fournissent donc un indice de l'effet global de cette source sur la santé. Cette dernière formule permet de comparer les effets pour une grande variété de sources et de pratiques entraînant une exposition aux rayonnements ionisants.

13. Aux fins d'évaluation des doses, le Comité avait retenu, dès le début de ses travaux, une hypothèse de base qu'il continue à utiliser au stade actuel. C'est l'hypothèse d'une proportionnalité directe entre les doses et la probabilité des effets (cancer ou maladies génétiques) pour les niveaux de doses et intensités de rayonnement relativement faibles, généralement envisagés dans le présent rapport. Cette hypothèse doit s'appliquer à des populations nombreuses, comprenant des individus des deux sexes et d'âges divers et non à un seul individu. Elle n'a pas été démentie par la masse de données expérimentales et épidémiologiques. Il est permis de croire que, pour les doses et intensités de rayonnement faibles qui intéressent le Comité, loin d'être sousestimé, le risque est plutôt surestimé dans cette hypothèse.

14. Le présent rapport se distingue des précédents sur un point important. Au lieu d'évaluer les doses absorbées pour un nombre limité de tissus importants (gonades, poumons et moëlle osseuse par exemple) le Comité combine maintenant les doses dans tous les organes et tissus en une dose appelée "équivalent de dose effectif" (voir par. 66 à 69) qui, de l'avis du Comité, représente la totalité du risque couru par les populations irradiées. En conséquence, dans certains cas, l'évaluation de l'importance relative de certaines substances radioactives a changé par rapport aux précédents rapports du Comité.

1. Sources naturelles

15. La dose annuelle moyenne reçue par l'humanité provient en majeure partie de sources naturelles, aussi bien externes (par exemples les rayonnements cosmiques ou les substances radioactives dans le sol et les matériaux de construction) qu'internes (inhalation ou ingestion de substances radioactives naturelles dans

l'air et les aliments). On considère maintenant que l'inhalation est la voie la plus importante, suivie par les radiations externes et l'ingestion. L'équivalent de dose effectif dû à l'inhalation est attribuable en grande partie au radon, un gaz radioactif noble, que l'on trouve souvent en concentrations relativement élevées dans l'atmosphère des bâtiments.

16. Les caractéristiques de l'irradiation naturelle sont que toute la population mondiale est exposée et qu'elle demeure relativement constante depuis très longtemps. C'est pourquoi, on peut la prendre comme niveau de référence dans l'étude des sources non naturelles de rayonnement ionisants.

17. La dose d'irradiation reçue de sources naturelles dépend de plusieurs facteurs, notamment le lieu de résidence, le type d'habitation et l'altitude. Pour la majeure partie de la population mondiale on considère cependant que la fourchette des doses individuelles provenant de sources naturelles est assez étroite, probablement entre 50 p. 100 et 200 p. 100 de la valeur moyenne.

18. Toutefois, si on prend un élément particulier de la dose provenant de sources naturelles, on constate en général que certains individus sont exposés à des niveaux bien plus élevés que la moyenne. On peut citer par exemple les individus qui vivent dans des régions où le sol et les roches sont riches en substances radioactives naturelles, ceux qui vivent dans des immeubles à forte concentration en radon, ceux qui vivent à des altitudes élevées au-dessus du niveau de la mer et ceux qui consomment des aliments contenant des substances radioactives en concentrations particulièrement élevées.

19. Le Comité a examiné les irradiations dues à des sources naturelles dans ses rapports de 1958, 1962, 1966, 1972 et 1977. Etant donné le nombre croissant de mesures effectuées, les évaluations de doses sont de plus en plus précises, notamment en ce qui concerne les sources externes. Dans le présent rapport, les doses exprimées en équivalent de dose effectif mettent en lumière l'importance de l'inhalation; en moyenne, on estime maintenant que la moitié environ de l'équivalent de dose effectif provenant de sources naturelles est due à la présence de radon à l'intérieur des bâtiments.

2. Sources non naturelles

20. L'irradiation due à des sources naturelles varie très peu d'une année sur l'autre et elle est à peu près la même pour toute la population mondiale. En revanche, les sources non naturelles peuvent varier considérablement dans le temps et l'irradiation qui en résulte peut varier considérablement selon les groupes de population.

a) L'irradiation médicale

21. L'irradiation médicale est actuellement la principale irradiation due à des sources non naturelles. Les rayonnements sont utilisés en médecine aux fins de diagnostic (radiographie ou examen de médecine nucléaire) et de traitement de certaines maladies, notamment des cancers. Les doses reçues sont extrêmement variables : très petites dans de nombreux examens diagnostiques, très élevées en radiothérapie clinique. Comme l'irradiation médicale est généralement limitée à telle ou telle partie du corps, il était difficile auparavant de la comparer avec les autres types d'irradiation. C'est pour faciliter cette tâche qu'on parle, dans le présent rapport, d'équivalent de dose effectif.

22. Les doses individuelles annuelles varient de zéro pour l'individu ne recevant aucune irradiation diagnostique ou thérapeutique à plusieurs dizaines de milliers de fois la dose annuelle moyenne due à des sources naturelles pour les patients en radiothérapie. Dans ces conditions, les doses moyennes ne sont pas très significatives, même si les doses collectives peuvent donner une indication sur l'effet de l'irradiation due à des sources médicales. Dans les pays industriels, les équivalents de doses effectifs collectifs annuels dus à la radiographie et l'irradiation de diagnostic de médecine nucléaire sont peut-être de l'ordre d'une fois et demie la dose annuelle collective provenant de sources naturelles. Le Comité n'a pas évalué l'importance de l'irradiation à des fins thérapeutiques. Il faudrait la considérer différemment car elle intéresse généralement des individus plus âgés et il est donc peu probable qu'elle ait des conséquences latentes ou à long terme car leur espérance de vie est plus limitée.

23. On commence seulement à recevoir des données des pays en développement, en partie grâce à la collaboration avec l'Organisation mondiale de la santé. Il en ressort que, les examens y sont environ dix fois moins fréquents que dans les pays industrialisés. Par conséquent, l'équivalent de dose effectif collectif annuel pour l'irradiation médicale pour l'ensemble du monde est peut-être un cinquième environ de l'équivalent de dose effectif collectif annuel provenant de sources naturelles. Si les doses individuelles d'irradiation médicale professionnelle sont importantes, leur part dans la dose collective est insignifiante par rapport à l'irradiation des patients car le nombre de travailleurs touchés est relativement restreint.

24. Le Comité a déjà examiné les données sur l'irradiation médicale dans ses rapports de 1958, 1962, 1972 et 1977. Il est cependant difficile de dégager des tendances en ce qui concerne la dose collective au cours des années, étant donné le peu d'informations disponibles et les incertitudes relatives aux estimations des doses. Dans les pays industrialisés, le nombre des examens a augmenté mais en même temps, l'amélioration constante des appareils devrait se traduire par une réduction de la dose par examen. Il se peut que ces deux tendances s'annulent en quelque sorte. Dans les comparaisons faites dans le présent rapport, le Comité a supposé que la dose annuelle collective due à l'irradiation médicale demeurait à peu près constante.

b) Explosions nucléaires

25. Les matériaux radioactifs artificiels provenant d'essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère ont été la cause d'une contamination généralisée de l'environnement. Ces matériaux ont été en grande partie injectés dans la haute atmosphère, d'où ils sont redescendus lentement dans la basse atmosphère puis sur terre (ce que l'on appelle habituellement les retombées). Des radionucléides qui apparaissent dans les retombées provoquent une irradiation par inhalation pendant qu'ils se trouvent dans l'atmosphère au niveau du sol et une irradiation d'origine externe ou par ingestion une fois déposés sur les plantes ou dans le sol.

26. Des explosions nucléaires ont lieu depuis 1945. Il y a eu des programmes intensifs d'essais nucléaires dans l'atmosphère de 1954 à 1958 et en 1961-1962. Depuis 1964, des explosions ont de nouveau eu lieu dans l'atmosphère, la dernière en octobre 1980. Il y a eu et il continue d'y avoir des explosions nucléaires souterraines, mais la contamination de l'environnement qui en résulte est relativement peu importante. De même que dans tous ses rapports précédents, le Comité a évalué l'irradiation de la population mondiale due aux essais nucléaires

dans l'atmosphère. Les explosions nucléaires produisent plusieurs centaines de radionucléides, dont quelques-uns seulement contribuent à l'irradiation de l'homme, car la plupart se désintègrent très rapidement ou sont produits en quantité négligeable. Dans le présent rapport, le Comité a considéré 21 radionucléides, dont l'iode-131, le strontium-90, le caesium-137 et le carbone-14. Comme ces éléments ont des périodes très différentes, les doses dues à un essai nucléaire sont reçues à des rythmes différents à la suite de l'explosion. Par exemple, les doses dues à l'iode-131 sont reçues en quelques semaines, celles qui sont dues au strontium-90 et au caesium-137 sont reçues en quelques dizaines d'années, alors que les doses dues au carbone-14 seront reçues pendant des millénaires.

27. A tout instant, les doses varient aussi selon l'emplacement. Du fait d'une variation des retombées en fonction de la latitude, les doses dans l'hémisphère sud sont en général quatre fois plus faibles que dans l'hémisphère nord. En outre, les retombées locales (à proximité du site d'essai) occasionnent parfois des doses plus élevées pour des petits groupes de population.

28. Exprimées en pourcentage de l'irradiation moyenne due à des causes naturelles, les doses collectives annuelles illustrent l'évolution de l'irradiation due aux essais nucléaires. La figure I a) montre l'évolution à long terme, déterminée d'après les données contenues dans le présent rapport et dans les précédents rapports du Comité. Il y a eu une forte augmentation de la dose annuelle collective au début des années 60, avec un maximum en 1963, correspondant à 7 p. 100 environ de l'irradiation moyenne due à des sources naturelles. En 1966, la dose annuelle était retombée à quelque 2 p. 100 et actuellement elle est inférieure à 1 p. 100. S'il n'y a pas plus d'explosions dans l'atmosphère, les doses annuelles continueront à diminuer progressivement avant de disparaître complètement.

29. La dose collective annuelle moyenne reçue à un moment donné par la population mondiale [figure I a)] est le résultat de toutes les explosions antérieures. Il est intéressant également d'examiner l'évolution de la dose collective engagée jusqu'à la désintégration complète des radionucléides libérés par année d'essais. C'est l'objet de la figure I b) qui montre l'importance des explosions de 1961-1962 dans l'irradiation due aux retombées de tous les essais d'armes nucléaires effectués à ce jour.

30. Dans la figure I b), les doses collectives sont exprimées en nombre de jours d'irradiation de la population mondiale due à des sources naturelles ayant le même effet. Si les doses à la population mondiale pouvaient être reçues à un taux constant, égal à l'irradiation moyenne due à des sources naturelles, au lieu d'un taux faible et irrégulier sur plus de mille ans, la dose collective totale serait égale à la dose actuellement reçue de sources naturelles en quatre ans environ. On peut donc dire que l'effet des retombées correspond à quatre ans environ de dose moyenne due à des sources naturelles. La dose collective reçue à ce jour qui peut être déduite de la figure I a), représente environ 0,4 année d'irradiation due à des sources naturelles. Le reste, soit environ 3,3 années, correspond aux doses qui seront reçues jusqu'à la désintégration complète des radionucléides libérés. Cinquante pour cent de l'irradiation due à des retombées seront reçues à un taux faible au cours des 2 000 ou 3 000 années à venir.

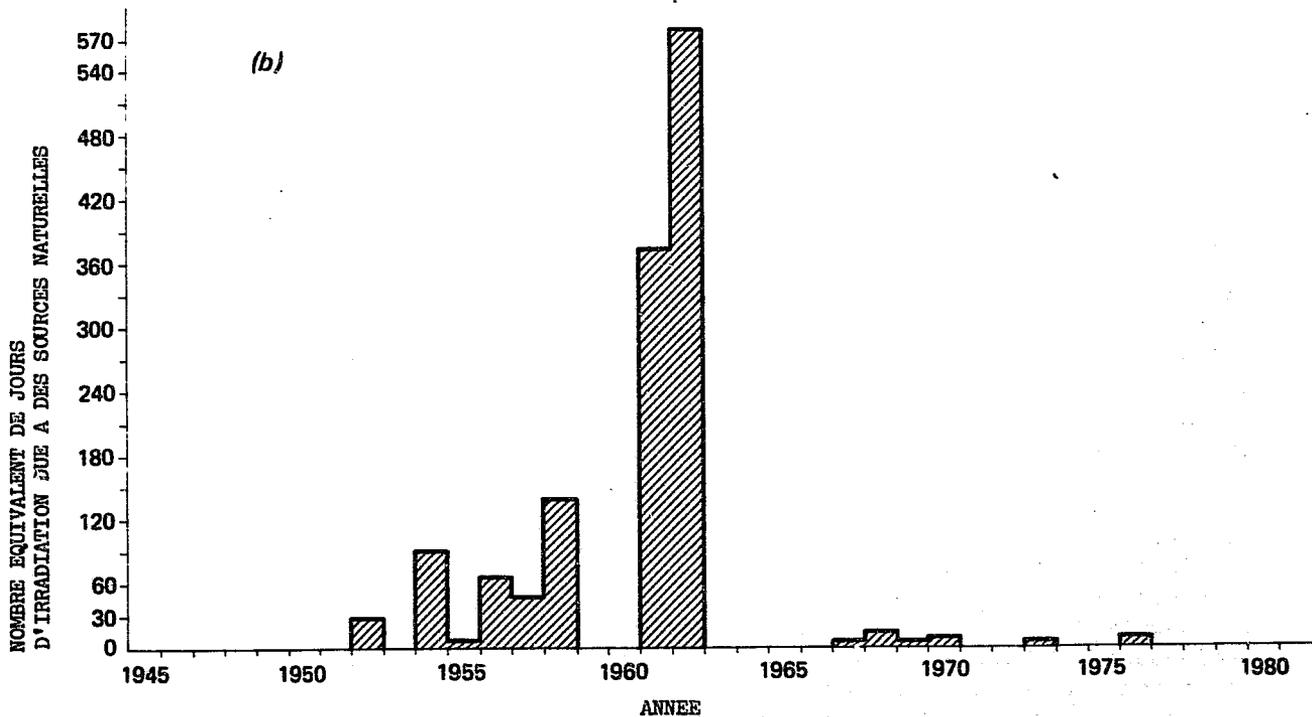
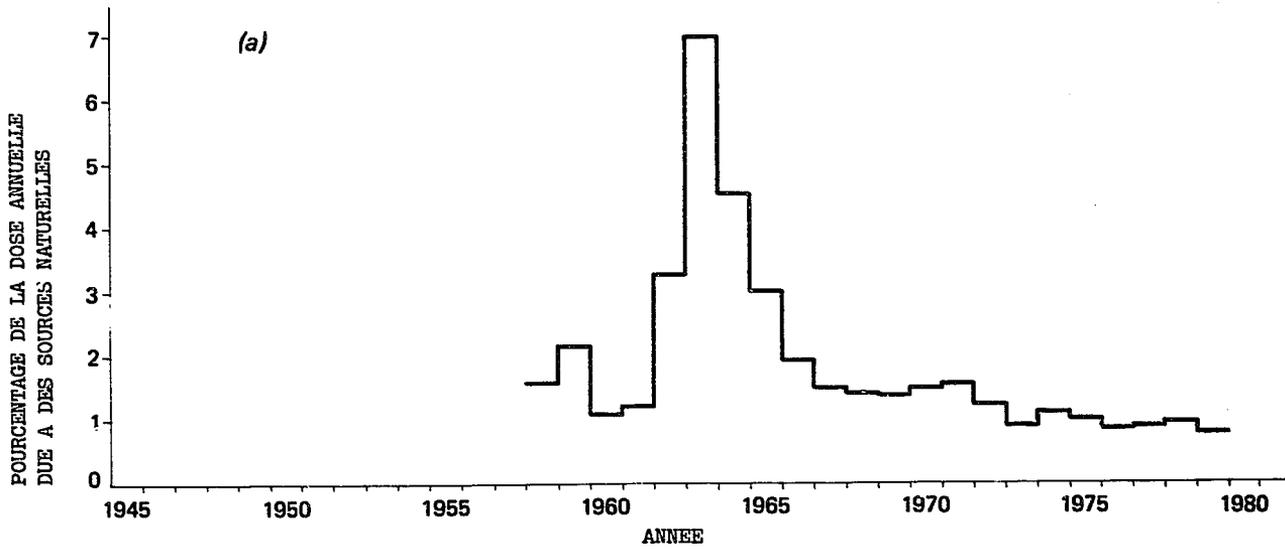


Figure I. Evolution de la dose collective due aux explosions nucléaires dans l'atmosphère. a) Dose collective annuelle moyenne reçue entre 1958 et 1979; Dose collective engagée pour l'avenir par les explosions qui ont eu lieu entre 1945 et 1980.

c) Production d'énergie nucléaire

31. Le nombre de réacteurs nucléaires en service a augmenté depuis le précédent rapport du Comité; en 1979, il y avait 235 réacteurs d'une puissance installée totale d'environ 120 gigawatt (GW). La production d'énergie électrique par des réacteurs nucléaires présuppose l'existence d'un cycle du combustible qui comporte de nombreuses étapes : extraction et traitement des minerais d'uranium; conversion en diverses formes chimiques; enrichissement ou augmentation de la teneur isotopique de l'uranium 235 (dans certains cas); fabrication des éléments de combustible; production d'électricité dans les réacteurs nucléaires; retraitement du combustible irradié (dans certains cas); transport des matériaux entre les différentes installations et, enfin, évacuation des déchets radioactifs. Pour chacune de ces grandes étapes du cycle du combustible nucléaire, le Comité a évalué les doses, aussi bien pour les travailleurs que pour le grand public.
32. S'agissant du public, il convient de comprendre qu'à un moment donné, la dose qu'un individu reçoit d'une source telle qu'une centrale nucléaire est étroitement liée à sa distance à la source. En outre, la dose qu'un individu reçoit d'une installation nucléaire en un point donné, varie dans le temps, même lorsque l'installation a cessé de fonctionner, à cause des radionucléides qui restent dans l'environnement. Il est de ce fait difficile de chiffrer les doses individuelles qui pourraient être représentatives de cette source, mais on peut évaluer l'effet total en additionnant les doses individuelles présentes et futures reçues dans l'espace et le temps par chaque individu. Les indications relatives aux doses individuelles peuvent cependant être exprimées de plusieurs façons.
33. Par exemple, on pourrait décider de donner la valeur qui correspond à l'individu (présent ou futur) qui a reçu (ou recevra) la dose la plus élevée imputable à l'exploitation d'une source donnée mais les doses individuelles réelles se situeraient alors entre zéro et cette valeur maximum. On pourrait également donner, pour une année, la dose moyenne pour l'ensemble de la population mondiale, en d'autres termes la dose annuelle par individu. Aucune de ces estimations ne permet de se faire une idée complète de la situation réelle, bien que chacune ait son utilité d'un certain point de vue.
34. Malgré toutes ces difficultés conceptuelles, il est intéressant pour les individus irradiés d'avoir un chiffre même approximatif, de la dose individuelle. Par exemple, la dose individuelle maximum peut donner une indication quant à la limite supérieure du risque encouru du fait d'une source donnée. Si on analyse l'évolution dans le temps, il peut être utile de connaître la dose annuelle moyenne pour la population mondiale à une date donnée. Toutefois, il convient de souligner de nouveau qu'il ne s'agit que de moyennes données à titre indicatif, qui ne correspondent pas à l'irradiation réelle d'un individu donné.
35. Presque tous les matériaux radioactifs utilisés dans l'industrie nucléaire demeurent sur les lieux du réacteur ou dans des installations d'entreposage spécialisées; toutefois, de petites quantités de matières radioactives sont libérées dans l'environnement à presque toutes les étapes. La plupart des radionucléides libérés n'ont qu'un intérêt local car ils se désintègrent rapidement. D'autres cependant ont une période plus longue ou sont dispersés plus rapidement et se répandent donc dans le monde entier et contribuent à l'irradiation de toute la population mondiale, maintenant et, dans certains cas, pour très longtemps.

36. En gros, on peut dire que l'équivalent de doses effectif collectif annuel à court terme au public dû à ces sources est passé de 0,0001 p. 100 de la valeur correspondante due aux sources naturelles en 1960 à environ 0,01 p. 100 en 1980. Cette augmentation est directement liée à l'expansion de la production d'énergie nucléaire. Les doses annuelles à tel ou tel individu varient autour de la valeur moyenne, les doses les plus élevées étant généralement reçues par les groupes de population vivant à proximité des installations nucléaires. Il semble que la valeur habituelle à proximité des réacteurs nucléaires se situe entre une fraction de un pour cent et quelques pour cent de l'équivalent de dose effectif annuel moyen dû aux sources naturelles. Les travailleurs de l'industrie nucléaire pour leur part reçoivent des équivalents de dose effectifs annuels qui sont en général de l'ordre de la valeur moyenne correspondante due à des sources naturelles.

37. La composante à long terme de l'irradiation est due à la libération de radionucléides à période longue lors de l'exploitation des installations ou de l'évacuation des résidus de traitement ou de déchets de haute activité. On a évalué, en première approximation, cette composante pour une période de 500 ans suivant la libération. Pour un an de production d'énergie nucléaire au niveau de 1980, son effet sur le public pourrait correspondre à deux heures environ d'irradiation due aux sources naturelles, la composante à court terme étant évaluée à l'équivalent de quelque 30 minutes d'irradiation due aux sources naturelles. La majeure partie de la composante à long terme de l'équivalent de dose effectif est imputable aux émissions des résidus de traitement, qui peuvent dégager du radon pendant des périodes extrêmement longues. L'amélioration de la gestion permet d'agir sur la vitesse de libération et les réductions obtenues pourraient être considérables. Dans un avenir lointain (quelques milliers ou quelques millions d'années), les émissions de résidus de traitement ou des dépôts de déchets seront modifiés par des variations géologiques et climatologiques qu'il est extrêmement difficile de prévoir. Les doses estimatives qui en résulteront dépendent également du mode de vie à ce moment, qui sera peut-être très différent du nôtre.

38. Si l'on suppose que l'on continuera à produire de l'électricité par fission nucléaire pendant 500 ans au rythme actuel, le Comité estime que l'équivalent de dose effectif collectif annuel maximum serait de moins de 1 p. 100 de la dose correspondante annuelle due à des sources naturelles. Il convient de souligner que cette prévision à long terme est fondée sur les techniques actuelles et qu'elle est donc sujette à modification. Les progrès techniques - par exemple l'introduction de réacteurs rapides ou d'autres techniques nouvelles du cycle du combustible ou le confinement des radionucléides à période longue - permettront probablement de réduire encore l'effet à long terme des pratiques futures.

39. Il est beaucoup plus facile d'évaluer l'importance de l'irradiation professionnelle dans la production d'énergie nucléaire car la plupart des travailleurs sont surveillés individuellement. Au niveau actuel de production, l'équivalent de dose effectif collectif annuel dû à l'irradiation professionnelle représente 0,03 p. 100 environ de la valeur correspondante due à des sources naturelles.

B. Progrès de la radiobiologie

40. Les effets biologiques des rayonnements sont liés essentiellement au dépôt d'énergie dans les cellules de l'individu irradié. On peut distinguer deux types de cellules de ce point de vue : les cellules somatiques, qui ne survivent pas à l'individu; et les cellules germinales, qui ont pour fonction de transmettre une information génétique à d'autres individus. Les effets somatiques de l'irradiation se produisent dans les cellules somatiques et, par définition, ils doivent se manifester pendant la vie de l'individu irradié. En revanche, les effets génétiques, qui se produisent dans l'autre type de cellules, se manifestent chez les descendants de l'individu irradié, que ce soit à la première génération ou plus tard.

41. En termes généraux, les effets biologiquement importants modifient la division des cellules somatiques de deux façons : ou bien la cellule irradiée cesse de se diviser et finit par mourir; ou bien elle acquiert une capacité de division effrénée qui est caractéristique du cancer. On distingue généralement entre les effets immédiats et tardifs de l'irradiation, selon qu'ils se manifestent entre quelques heures et quelques semaines ou bien au contraire des mois et des années après l'irradiation.

42. Plutôt que de rechercher à traiter de tous les effets biologiques sur l'homme et les animaux dans un seul rapport, le Comité a pour principe d'examiner quelques domaines, selon la quantité d'informations accumulées et compte tenu de la nécessité d'examiner périodiquement tous les domaines. Le présent rapport est aussi établi selon ce principe. Parmi les effets somatiques, diverses conséquences non néo-plastiques de l'irradiation du corps tout entier ou de certains tissus sont examinées. Les informations sur les effets génétiques sont mises à jour et évaluées aux fins d'estimation des risques.

1. Effets génétiques

43. Dans le domaine des effets génétiques, le Comité a formulé des conclusions importantes fondées sur des publications récentes. Elles ont renforcé sa conviction que, pour l'essentiel, ses hypothèses antérieures et ses estimations des risques demeuraient valides. On a comparé ces estimations avec le nombre de malformations congénitales non liées aux irradiations qui, à divers degrés de gravité, touchent 10 p. 100 environ de tous les enfants nés vivants. Des agents physiques, tels que les rayonnements ionisants, ainsi que certains produits chimiques nocifs peuvent agir sur le matériel génétique des cellules reproductrices dans les testicules ou les ovaires et modifier les gènes, qui sont les unités élémentaires de l'hérédité (ce qui entraîne des mutations génétiques), ou sur la structure et le nombre des chromosomes porteurs de gènes (ce qui cause des aberrations chromosomiques). Les modifications du matériel génétique peuvent être associées à diverses malformations congénitales, dont certaines ont des conséquences cliniques très graves.

44. En arrêtant les observations expérimentales aux mutations génétiques et aux aberrations chromosomiques, on a comparé les données sur les rapports entre les doses et les effets pour différents organismes. Ces comparaisons ont confirmé l'hypothèse d'un rapport de proportionnalité pour les différents gènes entre la fréquence des mutations spontanées et celle des mutations induites. On a utilisé cette hypothèse de base dans la méthode indirecte d'estimation des risques.

45. Par la méthode indirecte, le Comité a calculé en 1977 que pour une population continuellement exposée à des doses faibles de rayonnements à faible TLE au taux de 0,01Gy par génération (une génération = 30 ans) on pouvait prévoir 63 nouveaux cas de maladies génétiques par million de descendants de la première génération, dues en grande partie à des anomalies dans le nombre des chromosomes. Toutefois, d'après des données concernant les animaux de laboratoire et l'homme, il apparaît que les maladies considérées comme des maladies chromosomiques pourraient être moins fréquentes que l'on ne pensait. C'est pourquoi, le Comité estime maintenant que si une population est irradiée dans les conditions indiquées ci-dessus, il y aura environ 20 (et non 63) nouveaux cas de maladies génétiques par million de naissances à la première génération et environ 150 (et non 185) cas par million de naissances une fois l'équilibre réalisé (ou environ 2 000 cas et 15 000 cas respectivement si le niveau d'irradiation est de 1Gy par génération).

46. De même que dans le rapport de 1977, le Comité a aussi évalué les risques de désordres génétiques par la méthode directe. Les chiffres obtenus dans les deux cas (par la méthode directe et par la méthode indirecte) sont suffisamment proches.

47. Les risques d'induction d'un effet particulier de l'irradiation sur les chromosomes (translocations réciproques) ont été réévalués sur la base des résultats d'études effectuées sur les ouistitis, les singes rhésus et l'homme. Toutefois, il est impossible, au stade actuel, d'évaluer avec certitude les conséquences sur la santé des individus porteurs de ces translocations.

48. Notre connaissance des relations entre la dose et la réponse et de certains autres aspects des principales mutations génétiques pouvant être induites par irradiations chez les mammifères en laboratoire s'est améliorée. Le Comité continue de penser qu'il est essentiel d'utiliser largement les données d'expérience pour évaluer les risques génétiques, en l'absence de résultats significatifs concernant l'homme. Des suggestions ont également été formulées concernant une analyse plus poussée des effets génétiques négatifs.

2. Effets somatiques

49. L'une des conclusions formulées dans le présent rapport est qu'à faible dose et à faible intensité de rayonnements on n'observe pas d'effets non néo-plastiques, et ceci qu'il s'agisse d'irradiations de l'ensemble du corps ou d'un organe particulier. A des doses et intensités de rayonnements comparables, le cancer pourrait être la seule conséquence somatique de l'irradiation chez l'homme et les animaux.

50. Dans son rapport de 1977, le Comité a examiné les facteurs qui font qu'il est très difficile d'évaluer avec précision les risques d'induction du cancer chez l'homme. Malgré ces difficultés, il avait présenté une analyse des données concernant l'homme et des estimations des risques que l'on pouvait en déduire, à prendre en considération dans les décisions d'ordre pratique, notamment la formulation de critères scientifiques pour les mesures de radio-protection.

51. Comme on n'a guère de nouvelles données épidémiologiques, il ne serait pas très utile de refaire cette analyse si peu de temps après. Le Comité a donc entrepris d'examiner toutes les données concernant l'homme et les animaux de laboratoire qui pourraient être utiles à la lumière de quelques modèles fondamentaux d'induction de tumeur. Il avait pour but d'évaluer les erreurs susceptibles de se produire dans les estimations selon le modèle d'effets des

rayonnements utilisé. On peut considérer cette étude comme une façon indirecte d'évaluer les fourchettes de risque à des doses et intensités de rayonnements faibles en l'absence d'indications directes.

52. Le Comité a cependant décidé de différer la publication d'un document fondé sur cette étude quand il a appris que des révisions avaient été proposées aux estimations dosimétriques concernant les survivants des bombes atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki, sur lesquelles il avait fondé certaines de ses analyses. Non seulement les doses totales reçues par les populations irradiées, mais aussi l'importance relative des neutrons et des rayons gamma dans la dose indicative calculée en 1965, actuellement utilisée, étaient remises en question. Les révisions proposées visent à réduire la dose due aux neutrons dans les deux villes et à augmenter considérablement la dose due aux rayons gamma à Hiroshima et à la réduire légèrement à Nagasaki. En outre, il y a beaucoup d'autres facteurs à prendre en considération si on veut que les estimations révisées des doses aux différents organes pour les survivants soient fiables. Il s'agit d'un problème technique complexe et il semble peu probable que les révisions proposées puissent être examinées en détail et adoptées rapidement.

53. Le Comité attend avec intérêt les résultats des nouvelles études dans ce domaine car il faudra en tenir compte pour estimer les risques résultant de l'irradiation pour l'homme. Cependant, le Comité tient à souligner qu'à son avis ces révisions ne modifieront pas sensiblement les estimations figurant dans son rapport de 1977 à savoir que, pour les rayons X et gamma, les risques d'induction d'un cancer mortel est de l'ordre de 0,002 p. 100 pour un équivalent de dose effectif correspondant à un an d'irradiation provenant de sources naturelles, en moyenne pour les deux sexes et tous les âges. Il y a deux raisons à cela. D'une part, il est encore impossible de dire exactement comment les révisions, si elles sont acceptées, modifieront les estimations de risques mais sans doute il faudra multiplier ou diviser par deux au maximum les chiffres actuels. En fait, une plus grande similarité entre les données d'Hiroshima et de Nagasaki peut accroître la fiabilité des estimations. D'autre part, les informations concernant les survivants des bombes atomiques dans les deux villes ne sont qu'un des éléments concernant l'irradiation de l'homme que le Comité a utilisé dans ses estimations.

54. Si on ne prévoit donc guère de modifications dans les estimations relatives à l'induction du cancer chez l'homme par les rayons X et gamma, on perdra une importante source présumée d'information sur l'irradiation de l'ensemble du corps par neutrons si les révisions sont effectivement justifiées. Le calcul des doses aux survivants des bombes atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki sera examiné attentivement et le Comité continuera à étudier les rapports doses-effets.

55. On dispose d'une grande quantité d'informations sur les effets de l'irradiation, chez l'homme, de certains organes et tissus en radiothérapie pour diverses maladies, surtout le cancer. Il s'est avéré nécessaire de revoir ces données et de vérifier si elles sont compatibles avec les données obtenues dans différentes perspectives sur les animaux de laboratoire. Le Comité a fait porter son étude sur : la nature des lésions non stochastiques, radios induites immédiates et tardives (voir annexe J); les seuils où telle ou telle lésion immédiate apparaît chez différentes espèces et notamment chez l'homme; l'effet de certaines variables importantes de l'irradiation (qualité du rayonnement, fractionnement du traitement) sur ces seuils.

56. Deux notions générales se sont dégagées : premièrement, les lésions aux tissus sont déterminées essentiellement par la perte du pouvoir reproducteur de certaines cellules constituantes; deuxièmement, le moment et l'ampleur de la réaction observée dépendent en grande partie de la structure et des fonctions du tissu. Il a fallu déduire les informations applicables aux doses et intensités des radiations faibles, qui sont les plus intéressantes dans la pratique, de l'expérience acquise essentiellement à des doses et intensités des radiations élevées. Il a aussi fallu utiliser l'expérience acquise lors de l'irradiation de tissus humains normaux en radiothérapie.

57. Cette étude s'est avérée extrêmement utile car elle a permis d'obtenir énormément d'informations concernant les différents tissus. Les conclusions les plus générales que l'on puisse dégager d'une analyse aussi complexe sont que les effets non stochastiques sur les tissus ne sont généralement pas une fonction linéaire de la dose et qu'il semble y avoir des seuils à des doses faibles, ce qui est de la plus haute importance si l'on examine les lésions non stochastiques aux tissus. S'il est vrai que les seuils varient selon les tissus et selon les effets, il est peu probable, étant donné les mécanismes en jeu, qu'ils disparaissent aux doses et intensités de rayonnements faibles. Il s'ensuit que, si pour l'induction du cancer il n'y a pas de seuil, ou on considère qu'il n'y en a pas, le cancer pourrait être induit aux doses faibles en deçà du seuil où se manifestent les lésions non stochastiques. De ce point de vue, on peut dire qu'aux doses et intensités de rayonnements faibles, l'induction du cancer en général est l'effet le plus important pour la planification de la radio-protection.

58. Il est en principe plus facile d'identifier la cause des lésions aux cellules cibles dans les organes et tissus en cas d'irradiation partielle que si l'ensemble du corps est irradié, la signification et l'origine des symptômes et des effets étant parfois incertaines dans ce cas. Ce que l'on appelle généralement - et à tort - "le vieillissement" est un exemple typique d'effet de l'irradiation de l'ensemble du corps. Le Comité a procédé à une analyse des résultats d'expérience concernant le vieillissement radio-induit de l'homme et des animaux. Comme en fait on connaît mal les mécanismes biologiques du vieillissement, rien ne permet de penser, en l'absence de données d'expérience concluantes, qu'il s'agit d'un effet possible de l'irradiation; on ne peut pas cependant non plus écarter définitivement cette possibilité. Le Comité s'est donc borné à étudier la diminution de la durée de la vie due à l'irradiation.

59. Si la durée de la vie est habituellement prise comme mesure du vieillissement, elle n'en représente que l'aspect actuariel et on méconnaît le jeu complexe des facteurs qui aboutissent à la mort. On sait qu'en moyenne les populations humaines et animales irradiées tendent à vivre moins longtemps que des groupes témoins dûment sélectionnés. Toutefois, il peut être extrêmement difficile de déterminer les causes de décès, ce qui serait pourtant le seul moyen raisonnable d'identifier des causes spécifiques et donc de déterminer s'il existe d'éventuels mécanismes non spécifiques. Des publications extrêmement nombreuses montrent qu'à des doses et intensités de rayonnements faibles, la durée de la vie est réduite essentiellement en raison d'une incidence des cancers supérieure à la norme. Si l'on déduit le rôle de ces cancers de l'effet total de réduction de la durée de la vie, rien ne permet de dire qu'il existe d'autres mécanismes non spécifiques responsables d'abrègement de la vie. Cette conclusion est solidement documentée et elle est vraie des hommes et des autres mammifères. Il existe en fait certaines preuves contraires mais, de l'avis du Comité, elles n'ont pas suffisamment de poids pour infirmer cette conclusion. Peut-être faudra-t-il sur ce point entreprendre des études supplémentaires.

60. Il est essentiel de formuler les estimations de risques dans la perspective d'applications possibles très diverses. A cet égard, il importe de déterminer si les effets des rayonnements ionisants, qui sont universellement présents dans la nature, pourraient être modifiés par d'autres facteurs (physiques, chimiques ou biologiques) largement présents dans l'environnement et par conséquent susceptibles de toucher un grand nombre d'individus et, éventuellement, de modifier les estimations des risques.

61. Bien que cette possibilité ait souvent été suggérée, on manque d'informations fiables et cohérentes, notamment sur les effets qui sont significatifs pour les estimations de risques chez les humains (induction du cancer, effets génétiques, anomalies du développement). Pour cette raison, l'analyse du Comité est restée essentiellement théorique et les exemples ont été pris dans les ouvrages publiés. Elle illustre cependant la difficulté d'examiner cette question en détail parce que, étant donné la nature des agents, les différents mécanismes qui entrent en jeu, les doses, l'ordre et l'espacement des expositions, il y a toute une gamme d'interactions possibles.

62. Le Comité a examiné certains agents qui sont importants dans des conditions particulières, surtout dans l'irradiation professionnelle, le mieux connu étant l'interaction de la fumée de tabac et de l'irradiation alpha par les descendants du radon dans l'induction de tumeurs des poumons chez les travailleurs des mines d'uranium. Bien que cette conclusion s'applique sans aucun doute dans des situations professionnelles particulières (et peut donc être utile aux autorités locales), les travaux du Comité montrent qu'elle ne nuit en rien à la validité générale des estimations de risques d'irradiation. Il sera nécessaire de poursuivre les recherches sur ces problèmes, en adoptant des stratégies cohérentes et en choisissant judicieusement les agents à étudier. Le Comité a formulé des recommandations à ce sujet.

III. CORPS DU RAPPORT

63. APRES UNE PREMIERE PARTIE OU L'ON TROUVE UN EXPOSE GENERAL DES CONCEPTS ET DES QUANTITES UTILISES PAR LE COMITE DANS SON EVALUATION, LE PRESENT CHAPITRE PRESENTE SYSTEMATIQUEMENT, POUR LES DIVERS DOMAINES D'INTERET, DES CONCLUSIONS PRECISES A TIRER DES ETUDES DU COMITE DEPUIS LA PRESENTATION DU DERNIER RAPPORT DETAILLE. CHAQUE SECTION EST PRECEDEE D'UN PARAGRAPHE DONNANT LE RESUME DE LA TENEUR DE LADITE SECTION. LES DONNEES ET LES ANALYSES SUR LESQUELLES LE COMITE A FONDE SES CONCLUSIONS SE TROUVENT DANS LES ANNEXES SCIENTIFIQUES A à L.

A. Quantités et unités

64. Lorsqu'on étudie les effets des rayonnements ionisants, il est coutumier de lier la probabilité de la réaction ou l'ampleur des effets aux estimations concernant l'exposition aux rayonnements. La quantité primaire utilisée pour ce faire est l'énergie absorbée par la masse unitaire de l'objet biologique irradié, ce que l'on appelle la dose absorbée.

65. Pour évaluer les risques, il peut être souhaitable de faire une étude comparative de la contribution des différents rayonnements afin d'expliquer les différences des effets biologiques produits. L'une des quantités pondérées définies par la CIPR aux fins de la protection radiologique est l'équivalent de dose que l'on obtient en comparant la dose d'une irradiation donnée avec le facteur qualité fondé sur toute une série d'observations expérimentales. L'équivalent de dose H est donc le produit de la dose absorbée D et du facteur qualité Q pris avec tout autre facteur pertinent recommandé par la CIPR.

66. L'équivalent de dose effectif est l'un des éléments les plus utiles que l'on ait définis récemment - et qui est employé dans le présent rapport - pour évaluer les risques. On a introduit cet élément parce qu'il fallait tenir compte à la fois de l'irradiation globale et des irradiations partielles du corps pour procéder à cette évaluation. A cette fin, il faut que le coefficient de pondération assigné à l'irradiation d'une partie donnée du corps soit proportionnel au risque de provoquer des effets stochastiques, par opposition aux effets prévus lorsque l'ensemble du corps est irradié avec le même équivalent de dose. Par exemple, si pour le même équivalent de dose, l'irradiation d'un organe provoque dix fois moins d'effet que l'on en attendrait de l'irradiation de l'ensemble du corps, il faudrait, pour maintenir l'égalité de risque lorsque l'on fait la somme de l'irradiation des différents organes, assigner un coefficient de pondération dix fois inférieur à l'organe que l'on ne ferait pour un équivalent de dose pour l'ensemble du corps. La CIPR a dressé une liste des coefficients de pondération s'appliquant à divers organes aux fins de la radioprotection et ces mêmes facteurs sont utilisés tout au long du présent rapport.

67. L'équivalent de dose effectif, tel qu'il est défini par la CIPR, n'est pas conçu pour évaluer les risques, mais est utilisé comme une quantité dosimétrique appropriée à des fins de comparaison avec les limites de dose administratives. Etant donné que les coefficients de pondération d'un organe sont des moyennes pour tous les âges et pour les deux sexes, l'équivalent de dose effectif ne peut pas vraiment servir à évaluer la probabilité d'un cancer radio-induit ou de tares héréditaires graves provoquées par l'irradiation d'un individu, mais à donner le risque moyen pour une population hétérogène des deux sexes et de tous âges.

68. Pour une telle population, on part de l'hypothèse que les effets nocifs provoqués par de faibles doses d'irradiation sont proportionnels à la dose collective, c'est-à-dire la dose individuelle moyenne multipliée par le nombre d'individus exposés. On peut donc calculer l'effet radiologique d'une source d'irradiation donnée en faisant la somme des contributions individuelles à la dose effective dans l'espace et dans le temps. Lorsqu'on l'applique à la pratique susceptible d'avoir causé ces irradiations et de continuer à le faire, on appelle cette somme la dose engagée collective de ladite pratique.

69. En conclusion, si l'on veut effectuer une pondération des doses absorbées pour en tirer des équivalents de dose, il faut tenir compte de l'efficacité biologique de différents types de rayonnements. Lorsqu'on utilise l'équivalent de dose effectif, l'on tient compte du risque relatif d'irradiation de différents organes du corps. La dose collective permet d'estimer les effets nocifs susceptibles de frapper une population exposée. Le concept d'engagement est lié à l'ensemble des effets nocifs auxquels on peut s'attendre du fait de la pratique qui cause l'exposition. En dépit de leur complexité apparente, ces concepts facilitent l'évaluation et la comparaison des doses et des risques provenant de différentes sources de rayonnement.

70. Lorsque l'on étudie les rayonnements spontanément émis par une matière radioactive, il est pratique de classer ces émissions en utilisant l'activité (du radionucléide). L'activité est le nombre de transitions nucléaires du radionucléide par unité de temps. L'unité du SI est la seconde réciproque (s^{-1}). Le nom spécialisé de la seconde réciproque, pour désigner l'activité des radionucléides, est le becquerel (Bq). Ainsi

$$1 s^{-1} = 1 \text{ Bq (pour l'activité)}$$

L'unité de SI à la fois pour la dose absorbée et l'équivalent de dose est le joule par kilogramme ($J kg^{-1}$). Le nom spécialisé du joule par kilogramme, pour désigner la dose absorbée, est le gray (Gy). Ainsi

$$1 J kg^{-1} = 1 \text{ Gy (pour la dose absorbée)}$$

Le nom spécialisé du joule par kilogramme, pour désigner l'équivalent de dose, est le sievert (Sv). Ainsi

$$1 J kg^{-1} = 1 \text{ Sv (pour l'équivalent de dose).}$$

B. Niveaux et doses de rayonnement

1. Modèles d'évaluation de dose 4/

71. POUR CALCULER LA DOSE DELIVREE PAR LES SOURCES DE RAYONNEMENT AUX POPULATIONS EXPOSEES, IL EST NECESSAIRE D'UTILISER DES MODELES ETABLISSENT UN RAPPORT ENTRE LA QUANTITE MESUREE OU CALCULEE DE MATIERE RADIOACTIVE LIBEREE PAR LA SOURCE EN QUESTION OU PRESENTE DANS LE MILIEU AMBIANT ET LA DOSE RESULTANT CHEZ LES SUJETS EXPOSES. ON UTILISE A CETTE FIN DES MODELES DE TRANSPORT DANS L'ENVIRONNEMENT ET DES MODELES DOSIMETRIQUES. COMME INFORMATION DE BASE POUR LES EVALUATIONS QUI SUIVENT, ON TROUVERA DANS LA PRESENTE SECTION UNE DESCRIPTION DES PRINCIPAUX MODELES UTILISES PAR LE COMITE.

72. Le Comité étudie les informations sur l'exposition des êtres humains aux rayonnements à plusieurs fins. D'abord pour évaluer le niveau d'irradiation auquel sont exposés les individus, ensuite pour évaluer le niveau d'irradiation des groupes de population et enfin pour fournir des données de base. Le rapport entre le niveau d'irradiation d'un individu et la probabilité que cela provoquera sur sa santé les effets que cette irradiation est censée induire est extrêmement complexe. Dans l'état actuel des connaissances, il est raisonnable de supposer qu'une irradiation plus longue entraîne un risque plus grand d'effets nocifs. L'hypothèse principale qui sous-tend implicitement ou explicitement les évaluations du Comité est que la probabilité que se produisent des effets stochastiques dans un tissu donné est directement proportionnelle à l'équivalent de dose dans ce tissu, jusqu'aux doses les plus faibles, la proportion différant selon les tissus. L'importance de ce modèle de base ne saurait trop être souligné car, en l'absence de proportion directe, on ne pourrait pas ajouter de doses pour mesurer le risque total, ni calculer les doses collectives pour exprimer le préjudice total aux populations exposées.

73. Lorsque l'on étudie l'irradiation des travailleurs, il est généralement possible d'en évaluer le niveau en le mesurant directement. Les doses résultant de cette irradiation sur un certain laps de temps (par exemple une année, la durée du travail, la vie entière) donnent une idée du niveau présumé des risques encourus. Lorsque l'on évalue l'irradiation du public, individuellement ou collectivement, il n'est pas possible d'en mesurer le niveau directement, il faut donc l'évaluer indirectement. On utilise pour cela des modèles établissant un rapport entre le volume mesuré ou calculé d'activité émise par une source ou présent dans le milieu ambiant et les doses qui en résultent chez les individus exposés. Les modèles de ce type se partagent en deux grandes catégories : mésologique et dosimétrique. Les modèles de transport dans l'environnement (mésologiques) décrivent le mouvement des radionucléides à partir du point d'émission à travers divers secteurs de l'environnement. Les modèles dosimétriques comprennent ceux qu'on utilise pour prévoir le comportement des radionucléides à l'intérieur du corps humain après leur absorption et ceux qui donnent des estimations des effets sur les organes de radionucléides se trouvant dans le corps ou provenant de sources extérieures.

74. S'il est possible de mesurer le débit de dose absorbée dans l'air en calculant la quantité de radionucléides présents dans l'air ou déposés dans le sol en un nombre suffisant d'endroits et sur une période de temps suffisamment longue, on peut évaluer les doses absorbées par les individus et les populations par irradiation externe sans qu'il soit besoin d'utiliser des modèles de transport dans l'environnement pour décrire la façon dont la source de radionucléides a provoqué la contamination de l'air ou le dépôt de matières contaminantes. De même, si l'on peut mesurer les concentrations d'activité des radionucléides en question dans les organes ou les tissus chez un nombre suffisant de personnes, il est possible d'évaluer les doses absorbées par incorporation de radionucléides en utilisant uniquement des modèles dosimétriques et sans qu'il soit nécessaire de faire appel à des modèles de transport mésologiques. Dans maintes situations, en particulier pour les radionucléides présents dans la nature ou ceux produits par des explosions nucléaires, on a procédé à suffisamment de mesures en différents endroits et sur des périodes de temps assez longues pour permettre au Comité d'en tirer directement les doses estimées.

75. En mesurant les concentrations d'activité des radionucléides présents dans l'air ou dans les produits alimentaires, on peut faire des estimations légèrement moins directes des doses internes. Dans ce cas, il faut obtenir des informations

supplémentaires : le taux d'absorption des radionucléides à partir de l'air ou des produits alimentaires en question, et les modèles dosimétriques appropriés pour obtenir la quantité de doses absorbées dans les organes et les tissus après inhalation ou ingestion. Ces méthodes moins directes sont utilisées pour certains radionucléides provenant d'explosions nucléaires, souvent pour compléter un programme de mesure plus limité sur les humains. On les utilise également pour évaluer les doses absorbées par les groupes critiques de la population irradiée à la suite de l'émission délibérée d'un nombre limité de radionucléides à partir d'installations nucléaires. Comme il faut un effort préliminaire considérable pour s'assurer que le produit alimentaire étudié est le seul ou le principal moyen d'absorption du radionucléide en question il ne faut pas trop compter sur ce type de mesure. Lorsque le régime alimentaire du sujet étudié est varié et qu'on étudie un grand nombre de radionucléides, la tâche devient extrêmement ardue. Pour les radionucléides qui ne sont pas répartis uniformément dans l'environnement, ce n'est pas là une méthode très pratique pour déterminer la dose collective.

76. Il peut parfois ne pas être commode de procéder à des mesures directes. Cela peut tenir soit aux difficultés techniques qu'il y a à mesurer la concentration d'activité du radionucléide étudié dans un milieu approprié, soit à la difficulté d'obtenir des échantillons, soit au nombre très élevé de radionucléides et de voies d'exposition. Il peut également être difficile de procéder à des mesures directes parce qu'on a besoin des prévisions des débits de dose, par exemple pour en tirer les engagements de dose collective, plutôt que des mesures qu'il faut effectuer après ou pendant que la dose est délivrée. Dans de tels cas, il faut des modèles pour calculer les doses et la façon dont elles se répartissent à partir des données sur la quantité de radionucléides émise dans l'environnement et le taux d'émission. Le rapport entre les doses et les taux d'émission dépendra de plusieurs facteurs : les conditions d'émission, la forme physicochimique du radionucléide et le milieu dans lequel se fait l'émission (dans l'atmosphère, dans l'eau ou dans le sol), ainsi que les caractéristiques du milieu récepteur. En général, les modèles mésologiques qui intéressent le Comité sont des représentations mathématiques simplifiées de processus de transfert effectifs. Certains de ces processus sont bien compris et peuvent être décrits de façon raisonnablement précise par des modèles mathématiques qui suivent de très près les mesures. Le transfert par la chaîne alimentaire de radionucléides provenant de retombées comme le strontium 90 en est un exemple. D'autres processus peuvent n'être que partiellement connus, et l'élément temps et d'autres aspects peuvent rendre très difficile la vérification des modèles par des mesures comme, dans les cas de stabilité à long terme de l'absorption d'actinides dans le sol ou les particules sédimentaires.

77. On trouvera à l'annexe A une étude des modèles utilisés par le Comité, mais un compte rendu détaillé de tous ces modèles dépasse les limites du présent chapitre. Qu'il suffise de dire que le Comité décrit dans cette annexe les modèles de transport atmosphérique (local, régional et mondial), aquatique (rivières, lacs et océans) et terrestre utilisés dans toutes les autres annexes. On y étudie également la base des modèles et, en détail, les vecteurs de pénétration des divers modes d'irradiation. On considère que ces données forment l'information de base nécessaire pour évaluer les doses dans tous les cas où il y a dispersion de substances radioactives dans le milieu ambiant.

2. L'exposition au rayonnement naturel, y compris les sources technologiquement modifiées et les produits de consommation émetteurs de rayonnements

78. LA CONCLUSION PRINCIPALE A TIRER DES TRAVAUX DU COMITE DANS CE DOMAINE EST QUE LA CONTRIBUTION DOMINANTE A LA DOSE COLLECTIVE A PARTIR DE SOURCES NATURELLES PEUT ETRE ATTRIBUEE AUX PRODUITS DE LA DESINTEGRATION D'UN GAZ NOBLE, LE RADON. DANS DE NOUVELLES ETUDES, ON A EXAMINE UN CERTAIN NOMBRE DE SOURCES DE RADON, COMME LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION, LE RADON EMIS A PARTIR DU SOL, DE L'EAU DU ROBINET ET DU GAZ NATUREL. ON ETUDIE EGALEMENT UN CERTAIN NOMBRE DE PARAMETRES (EMISSION D'ELECTRICITE, TECHNIQUES DE CONSTRUCTION ET EN PARTICULIER VENTILATION) QUI PEUVENT INFLUER CONSIDERABLEMENT SUR LA QUANTITE DE RADON EMIS. ON S'EST RENDU COMPTE DE L'IMPORTANCE DE CES FACTEURS EN MEME TEMPS QUE L'ON A REALISE LES PROGRES TECHNIQUES QUI ENTRAINENT UNE AUGMENTATION DE LA CONCENTRATION DE RADON A L'INTERIEUR DES BATIMENTS. LES CHIFFRES CONCERNANT L'EXPOSITION A D'AUTRES SOURCES NATURELLES, A UN RAYONNEMENT NATUREL INTENSIFIE OU A DIVERS PRODUITS DE CONSOMMATION NE SEMBLANT PAS ETRE TRES DIFFERENTS DE CEUX DES EVALUATIONS PRECEDENTES.

79. Le Comité a fait rapport fréquemment sur les sources naturelles de rayonnement auxquelles sont exposés les êtres humains parce qu'elles représentent actuellement (et le continueront probablement dans l'avenir prévisible de représenter) la partie la plus importante de la dose collective reçue par la population mondiale. La présence universelle de ces sources et leur taux très faible mais relativement constant d'émission au cours d'une vie humaine en sont les principales caractéristiques. Depuis le rapport de 1977, on n'a pas beaucoup progressé dans la connaissance des sources naturelles de rayonnements, à l'exception de l'exposition aux produits de la désintégration du radon. Les paragraphes qui suivent représentent donc essentiellement une mise à jour. Néanmoins, les nouveaux renseignements reçus sur les expositions aux rayonnements naturels technologiquement modifiés et aux produits de consommation ont permis de mieux évaluer les sources et les doses qui en résultent.

80. Toute forme de vie sur Terre est inévitablement exposée à des sources d'irradiation naturelle. Celles-ci peuvent être de deux types différents : les sources dans l'environnement extra-terrestre (par exemple les rayons cosmiques) et les sources terrestres (par exemple les substances radio-actives de l'écorce terrestre). Le corps est irradié de l'extérieur. Mais les deux types de sources provoquent aussi une irradiation interne due à l'absorption de nucléides qui existent dans la nature et sont ingérés dans le corps par les voies physiologiques normales. Lorsqu'il vit dans un environnement naturel, l'homme est exposé à toutes ces sources.

81. Il y a certains cas pour la plupart liés au progrès technique, où l'exposition humaine à ces sources naturelles peut être modifiée. Les voyages aériens, l'utilisation du gaz naturel pour le chauffage, l'habitation au voisinage de centrales utilisant des combustibles fossiles sont autant d'exemples de conditions qui provoquent une exposition plus grande aux rayonnements naturels. Cela ne se produirait pas si les technologies responsables (qui ne sont pas expressément conçues pour produire des rayonnements) n'existaient pas. Dans le présent rapport, on appelle ces sources des "sources d'exposition naturelle technologiquement modifiées" et on les étudie séparément des sources réellement naturelles.

82. Comme on sait, d'après les analyses précédentes du Comité, qu'une partie substantielle de la dose reçue de sources internes est due à l'absorption de radon, de thoron et de leurs produits de désintégration, une étude détaillée de ces radionucléides a été entreprise aux fins du présent rapport. Cette étude porte sur le niveau desdits nucléides dans le milieu de vie et de travail, la portée et les causes de leur variabilité dans la nature et les conditions qui affectent la dose émise par ces nucléides lorsque les humains y sont exposés, particulièrement aux poumons. Les résultats de cette étude seront étudiés séparément (voir par. 108 à 116).

83. Enfin, il y a l'exposition à des biens de consommation largement utilisés, soit parce que des matières radio-actives y sont délibérément incorporées, soit parce que leur fonctionnement normal produit des rayonnements. Certes, l'exposition à des biens de consommation est, d'une certaine façon, similaire à l'exposition à des sources technologiquement modifiées, mais si on les traite ici dans le même chapitre, c'est surtout pour des raisons de commodité.

a) Les sources naturelles 5/

84. En ce qui concerne l'exposition externe, le Comité a évalué les doses provenant des rayons cosmiques (à la fois la composante ionisante et la composante neutronique) séparément des doses dues à l'irradiation terrestre produite par le potassium 40, l'uranium 238, le thorium 232 et leurs produits de désintégration. L'élément cosmique est généralement très stable à la surface de la Terre mais varie avec la latitude géomagnétique et, dans une plus grande mesure, augmente avec l'altitude. Ainsi, les groupes de population vivant à des altitudes élevées reçoivent des doses substantiellement plus élevées que ceux qui vivent à des altitudes moindres ou au niveau de la mer. L'équivalent de doses externes imputables aux rayons cosmiques que reçoivent les populations vivant au niveau de la mer est d'environ 0,3 millisievert par an.

85. L'élément terrestre du rayonnement naturel dépend de la composition des sols et des roches qui contiennent des radionucléides à l'état naturel. On a suffisamment d'informations sur les doses de rayonnement terrestre en plein air dans de grandes parties du monde pour pouvoir dire que la majorité de la population dans ces régions reçoit environ 0,35 millisievert par an avec une déviation standard de l'ordre de 25 p. 100 par rapport à cette valeur moyenne. On a obtenu ce chiffre parce que l'on sait que les taux d'irradiation à l'intérieur des bâtiments sont en moyenne 20 p. 100 plus élevés qu'à l'extérieur et l'on part de l'hypothèse selon laquelle les gens passent 80 p. 100 de leur temps à l'intérieur. On peut raisonnablement penser que cette moyenne pondérée de population représente le niveau "normal" de rayonnement terrestre auquel l'humanité est exposé. En se fondant sur des moyennes s'appliquant à de grands nombres d'adultes vivant dans les régions où le rayonnement cosmique naturel est normal, la dose externe reçue du fait de l'irradiation terrestre est légèrement plus élevée que celle provenant des rayonnements cosmiques.

86. Dans certaines régions du monde, l'exposition externe à des sources terrestres naturelles peut dépasser considérablement l'éventail normal de variabilité. De telles régions ont été identifiées (et, dans certains cas, soigneusement cartographiées) au Brésil, en Inde, en Iran, en Italie et dans d'autres pays. Dans certains de ces endroits, la dose annuelle reçue par les habitants peut être 10 fois supérieure à celle reçue par les habitants des zones à fond de rayonnement

normal. On n'a pas encore pu préciser le rapport entre les régions où le rayonnement est élevé et la dose collective mondiale due à l'exposition externe. Selon les estimations actuelles, cette contribution ne dépasse pas 10 p. 100 de la dose collective mondiale.

87. Le Comité a également évalué l'exposition interne résultant de l'absorption de radionucléides dans le corps par ingestion ou inhalation. Ces radionucléides sont soit cosmogènes (c'est-à-dire produits par l'interaction de rayons cosmiques avec des atomes de la haute atmosphère) soit primordiaux, c'est-à-dire qu'ils existent dans l'écorce terrestre depuis sa formation. Une très petite quantité de la dose imputable au rayonnement naturel est due à la première classe de nucléides. Le tritium (hydrogène 3), le beryllium 7, le carbone 14 et le sodium 22 sont les seuls éléments qui font monter la dose de façon importante. Dans cette dernière classe, les produits à période très courte de la désintégration du radon 222 sont de très loin ceux qui jouent le rôle le plus important dans l'augmentation de la dose. Viennent ensuite le potassium 40, les produits de la désintégration du thoron (radon 220) et le polonium 210. On peut dire que l'équivalent de dose effectif imputable aux sources internes de rayonnement naturel représente environ deux fois l'équivalent de dose effectif imputable à l'irradiation externe. Néanmoins, les groupes de personnes vivant dans des conditions de logement spéciales risquent d'être exposés à des doses d'absorption interne considérablement plus élevées.

Tableau 1

Equivalent de dose effectif annuel estimatif imputable aux sources naturelles de rayonnement dans les régions à fond de radioactivité "normale"

Source	Equivalent de dose effectif annuel (En millisieverts)		
	Irradiation externe	Irradiation interne	Total
Rayons cosmiques			
Composante ionisante	0,28		0,28
Composante neutronique	0,02		0,02
Nucléides cosmogènes		0,015	0,015
Nucléides primordiaux			
Potassium 40	0,12	0,18	0,30
Rubidium 87		0,006	0,006
Famille de l'uranium 238 a/	0,09	0,95	1,04
Famille du thorium 232 a/	<u>0,14</u>	<u>0,19</u>	<u>0,33</u>
TOTAL (en chiffres arrondis)	0,65	1,34	2,0

a/ Ces chiffres s'appliquent spécifiquement aux régions tempérées. Ils sont plus bas dans les régions tropicales.

88. On trouve au tableau 1 le résumé des données touchant diverses sources d'irradiation naturelle en termes d'équivalent de dose effectif. L'équivalent de dose effectif annuel mondial par habitant, pour ce qui est des sources naturelles de rayonnement, est estimé à 2 millisieverts, dont la moitié est due à l'inhalation à l'intérieur des bâtiments de produits à courte période de la désintégration du radon 222 et du radon 220, qui font partie de la famille de l'uranium 238 et de la famille du thorium 232, respectivement. On a découvert l'importance relative de la contribution des produits à courte période de la désintégration du radon 222 et du radon 220 en appliquant un nouveau concept de l'équivalent de dose effectif, c'est-à-dire que, lorsque l'on cherche à calculer l'équivalent de dose effectif pour les poumons, on multiplie la dose absorbée dans les poumons par un facteur qualité de 20 pour les particules alpha, et on multiplie par 0,12, qui est le coefficient de pondération pour les poumons. Le coefficient de conversion générale de la dose absorbée dans les poumons en équivalent de dose effectif est donc de 2,4 sieverts par gray. Comme les coefficients de conversion générale correspondants pour les autres éléments qui contribuent de façon importante à l'irradiation imputable à des sources naturelles équivalent à un sievert ou moins d'un sievert par gray, l'équivalent de dose effectif provenant des produits de la désintégration du radon 222 et du radon 220 acquiert une importance considérable. On pense que les concentrations moyennes à l'intérieur des bâtiments de radon 222 et de radon 220 varient d'une région du monde à l'autre selon le taux de ventilation et le type d'habitation. On estime dans le présent rapport que, comparée à la valeur mondiale moyenne, l'exposition aux produits de la désintégration du radon 222 et du radon 220 est d'environ 25 p. 100 supérieure à la moyenne sous les latitudes tempérées et d'environ 70 p. 100 inférieure sous les latitudes tropicales, ce qui donne des équivalents de dose effectifs annuels moyens d'irradiation à partir de sources naturelles de 2,2 millisieverts dans les zones tempérées et de 1,3 millisievert dans les zones tropicales. Pour ce qui est de la dose absorbée, cette valeur mondiale moyenne de 2 millisieverts par an corrobore grosso modo les chiffres estimatifs présentés dans le rapport de 1977 du Comité. On pense que l'équivalent de dose effectif collectif mondial annuel serait actuellement d'environ 10^7 homme-sieverts.

b) Les sources naturelles technologiquement modifiées 6/

89. On trouvera à la sous-section ci-après un résumé des caractéristiques des sources précédemment définies comme étant "technologiquement modifiées" (voir par. 81 à 83).

90. Les centrales thermiques. Le charbon contient, en petite quantité, des radionucléides naturels, et sa combustion en provoque la libération dans le milieu ambiant. La redistribution dans l'atmosphère des radionucléides qui se trouvaient enfouis sous l'écorce terrestre peut modifier de façon considérable les champs de rayonnement ambiant et l'irradiation de la population. On a acquis de nouvelles informations sur la mesure de l'activité dans le charbon et sur le comportement des radionucléides dans les centrales thermiques et autour de ces centrales. On peut donc maintenant procéder à une estimation des doses imputables à cette source d'irradiation.

91. Lorsque l'on brûle du charbon, la matière minérale fond et devient une cendre vitrifiée. La plus grande partie reste dans la centrale sous forme de scories, mais la partie plus légère, les cenures proprement dites, est emportée avec les

gaz chauds par la cheminée de la centrale à partir de laquelle une certaine partie (dont l'importance dépend de l'efficacité des appareils de collecte des gaz) est rejetée dans l'atmosphère. On a obtenu un chiffre estimatif de dégagement moyen de radionucléides dans l'atmosphère d'après le taux de rejet et les taux de concentration mesurés dans le charbon et les cendres; on pense que ce chiffre estimatif est valable pour l'ensemble du monde dans l'état actuel des choses.

92. On pense que les principales voies d'exposition de la population vivant autour des centrales thermiques aux radionucléides émis sont : l'inhalation au cours du passage du panache de fumée, l'irradiation externe, et l'inhalation et l'ingestion de radionucléides déposés dans le sol. Il est possible de calculer de façon raisonnablement exacte les doses absorbées par les diverses parties du corps et les engagements de dose pour les divers nucléides.

93. On a découvert que chacune des trois voies d'exposition mentionnées contribue de façon considérable à l'engagement d'équivalent de dose effectif collectif. Les éléments prédominants sont les isotopes du thorium (absorbés par inhalation lors du passage du panache de fumée) et les isotopes du radon (absorbés par irradiation interne imputable au dépôt d'activité). En partant de l'hypothèse que 70 p. 100 du charbon extrait dans l'ensemble du monde est utilisé pour la production d'énergie et qu'un gigawatt-année d'énergie produite requiert la combustion de 3 millions de tonnes de charbon, l'engagement d'équivalent de dose effectif collectif imputable à l'utilisation du charbon en 1979 est estimé, pour l'ensemble du monde, à environ 2 000 homme-sieverts. La combustion du charbon à d'autres fins ajoute encore à ce chiffre.

94. L'utilisation de roches phosphatées. On utilise beaucoup les roches phosphatées comme source de phosphore pour les engrais. Elles contiennent des traces d'uranium 238, de radium 226, de thorium 232 et potassium 40 qui sont redistribuées dans l'environnement pendant le traitement industriel et l'utilisation de la roche. Cette redistribution se fait par les dégagements d'effluents, l'utilisation agricole d'engrais et l'utilisation des sous-produits et des déchets à d'autres fins.

95. Les effluents industriels provoquent des concentrations variables des radionucléides en question en libérant dans l'air ou dans les liquides. Le type et la quantité de radionucléides émis dépendent dans une très grande mesure de la technique utilisée pour le traitement de la roche. L'inhalation au cours du passage du panache et l'absorption du dépôt d'activité dans le sol sont les principaux mécanismes d'irradiation; pour chacun d'entre eux, on peut procéder à des évaluations de dose très approximatives; cette question est étudiée à l'annexe C.

96. On peut également évaluer les doses pour les radionucléides contenus dans les engrais. D'après ce que l'on sait de la production mondiale d'engrais, de la teneur en radionucléides de ces substances et de leur répartition et de leur utilisation, du niveau de radionucléides dans les cultures vivrières traitées, etc., on peut calculer approximativement les doses reçues. Ces doses sont délivrées aux gens que leur profession expose aux engrais, et au public par divers mécanismes d'irradiation externe ou interne.

97. Le principal sous-produit du traitement des roches phosphatées est le gypse phosphoreux dans les usines qui utilisent les procédés par voie humide. Dans les usines à processus thermique, les scories de silicate de calcium sont le principal produit final. On utilise le phosphoreux à la place du gypse naturel dans les éléments de bâtiments préfabriqués, et le silicate de calcium pour les voies ferrées et les constructions en béton. Ces deux matériaux peuvent contenir des concentrations de radium 226 beaucoup plus élevées que la plupart des produits naturels. L'irradiation du public découle des utilisations susmentionnées et, étant donné la composition des nucléides et les conditions d'irradiation, on peut s'attendre à ce que cette irradiation soit importante, c'est-à-dire jusqu'à 30 p. 100 de plus que la moyenne pour les personnes vivant dans des maisons construites avec du phosphoreux.

98. Le Comité a évalué les irradiations que risque de provoquer le cycle complet d'exploitation des roches phosphatées en utilisant des hypothèses simplifiées raisonnables et en examinant les radionucléides les plus importants. En partant de l'hypothèse que 10 p. 100 du phosphoreux produit est susceptible d'être utilisé dans la construction d'habitations, le Comité est parvenu à la conclusion que le phosphoreux était de loin la source la plus importante qui contribue à la dose collective résultant de l'exploitation des roches phosphatées. Si l'on pouvait éviter d'utiliser cette matière, le reste de l'engagement de dose ne s'élèverait qu'à environ deux millièmes de la dose potentielle.

99. L'utilisation de matériaux de construction spéciaux. On a découvert que les habitants de logements construits avec certains autres matériaux recevaient aussi des doses élevées. Il s'agit notamment de la pierre ponce, du ciment tiré des schistes aluminifères, du tuf lithoïde, du granit et des résidus des usines d'uranium. Ces doses sont imputables à la forte concentration de potassium 40, de radium 226 et de thorium 232. Dans certains pays, en procédant à un échantillonnage de plusieurs matériaux de construction, on a découvert, dans certains cas, des concentrations excessives des nucléides susmentionnés. Néanmoins, les taux de dose moyenne absorbée que l'on a mesuré dans les bâtiments construits avec ces matériaux sont souvent beaucoup moins élevés que l'on ne pourrait s'y attendre si l'on considère la teneur en éléments radioactifs des matériaux considérés; ce faible niveau est généralement dû au fait qu'on a également utilisé des matériaux moins actifs dans les mêmes bâtiments.

100. L'exposition accrue aux rayonnements cosmiques. Au cours des vols par avion, les passagers sont soumis à des doses plus élevées de rayons cosmiques qui augmentent appréciablement en fonction de l'altitude. Par exemple, entre une altitude de 4 km et une altitude de 12 km, le débit de dose est multiplié par 20. On a estimé que l'équivalent de dose effectif collectif à la population mondiale dû aux vols commerciaux était d'environ 2 000 homme-sieverts en 1978. On a procédé à des évaluations similaires spécifiquement dans le cas des transports aériens supersoniques. Bien qu'en raison de l'altitude, le rayonnement d'origine solaire s'ajoute à l'élément galactique, et que le niveau de rayonnement peut augmenter considérablement en période d'éruption solaire, ces sources d'irradiation ne contribuent pour l'instant pas de façon très importante à l'irradiation naturelle de la population mondiale. Les doses individuelles reçues par des personnes comme les membres des équipages des avions ne sont néanmoins pas négligeables.

101. Il est probable que les exemples d'exposition aux sources technologiquement modifiées portés à l'attention du Comité sont incomplets. D'après les évaluations, le Comité conclut que cette exposition n'augmente pas de façon très importante la dose collective reçue par l'humanité à l'échelle mondiale. Néanmoins, dans certaines régions bien délimitées et pour certains groupes de populations exposés à des conditions extrêmes, il se peut qu'il se produise une augmentation appréciable de la dose individuelle imputable aux rayonnements naturels. Dans l'état actuel des connaissances, il n'est possible d'évaluer de façon très précise les doses collectives ainsi reçues. Il faudra faire davantage de recherches sur le sujet.

c) Les produits de consommation émetteurs de rayonnements 7/

102. Les instruments d'horlogerie radioluminescents. L'énergie émise au cours de la désintégration radioactive du radium 226, du prométhéum 147 et du tritium peut être convertie en lumière par un scintillateur. Ce phénomène a été largement utilisé dans l'industrie des peintures radioluminescentes pour l'illumination des instruments d'horlogerie et autres appareils scientifiques. Récemment, on a préféré utiliser le tritium plutôt que le radium car son rayonnement est moins pénétrant que celui qui accompagne la désintégration du radium et de ses descendants, ce qui réduit l'irradiation externe des utilisateurs. Avec l'utilisation du cristal liquide pour les écrans de visualisation, l'emploi de sources lumineuses provenant du tritium à l'état gazeux dans les montres électroniques se répand de plus en plus. L'équivalent de dose collectif annuel imputable aux instruments d'horlogerie radiolumineux employant différents radionucléides a été évaluée dans un certain nombre de pays. Lorsqu'on utilise ces chiffres pour calculer la dose à la population mondiale, celle-ci est de l'ordre de 2 000 homme-sieverts.

103. Les appareils électroniques et électriques. Parmi ces appareils on peut citer les starters des lampes fluorescentes, les déclencheurs d'appareils électriques et les systèmes de protection contre les voltages élevés. Les radionucléides incorporés à ce matériel (parce qu'ils permettent d'en améliorer le fonctionnement et de rendre celui-ci plus rapide et plus fiable) comprennent le krypton 85, le prométhéum 147 et le thorium 232. Malgré le nombre très élevé de ces appareils actuellement en fonctionnement, et le volume important d'activité en jeu, les doses qui en résultent ne devraient pas être très élevées. Elles peuvent cependant devenir appréciables si l'appareil se brise accidentellement ou si l'on ne prend pas les précautions nécessaires lorsqu'on le met au rebut.

104. Les appareils anti-parasites. Ces appareils sont utilisés dans l'industrie et, dans certains pays, dans les appareils ménagers pour réduire l'accumulation de la charge électrique dans certains matériaux. C'est essentiellement le polonium 210 qu'on utilise dans ces appareils pour ioniser l'air. Dans des conditions d'utilisation normales, le seul danger important résulterait de l'irradiation externe due à la très petite quantité d'éléments gamma émise. Dans des conditions d'urgence (par exemple choc ou incendie) l'intégrité des différents éléments peut être modifiée et les doses délivrées par irradiation interne risquent d'être sensiblement accrues.

105. Le détecteur de fumée. Ces appareils contiennent généralement de l'americium 241. Dans maints pays, on s'en sert énormément pour équiper les bâtiments industriels, publics, commerciaux et privés car les spécialistes de la lutte contre l'incendie reconnaissent la valeur de ces appareils pour la protection de la vie et des biens. En partant de l'hypothèse d'une vie utile de 10 ans pour

les quelques millions d'unités actuellement installées, et en supposant qu'on les mettra au rebut en les incinérant ou en les enterrant en prenant toutes les précautions voulues, l'équivalent de dose effectif collectif qui en résulte (d'après la production en 1978) serait de l'ordre de 10 homme-sieverts. La plus grande partie de cette dose est imputable à l'irradiation externe au cours de la vie utile des détecteurs de fumée.

106. Les produits contenant de l'uranium et du thorium. L'uranium est utilisé essentiellement comme pigment en céramique et en verrerie. Le thorium est utilisé dans les manchons à incandescence et dans certains produits optiques. Le risque principal causé par l'utilisation de ces substances dans des conditions normales est la dose imputable aux produits de désintégration qui émettent des rayons bêta et qui, dans des circonstances particulières, peuvent délivrer des doses très élevées à certains tissus. Par exemple, les lentilles optiques contenant un pourcentage élevé de thorium peuvent délivrer des doses relativement élevées au cristallin. De même, l'uranium incorporé à la porcelaine utilisée en prothèse dentaire pour simuler la fluorescence des dents naturelles peut délivrer un dose très élevée à l'épithélium buccal.

107. Les postes de télévision. Les postes récepteurs de télévision fonctionnant normalement émettent des rayons X mous qui peuvent provoquer une irradiation externe. Néanmoins, la quantité de rayons X émis par les récepteurs de télévision en couleur fabriqués récemment est négligeable si l'appareil fonctionne dans des conditions normales et est convenablement entretenu.

d) Le radon et ses produits de désintégration β /

108. Il est devenu de plus en plus évident que le radon 222 (communément appelé radon) et ses produits de désintégration constituent des sources naturelles d'irradiation très importantes. Il faut également compter, dans une certaine mesure, un isotope radioactif présent dans la nature, le radon 220 (communément appelé thoron). Ces constatations ont incité le Comité à étudier très en détail l'irradiation due à ces gaz et à examiner les variables physiques et physiologiques les plus importantes qui influent sur l'exposition.

109. Le radon et le thoron sont des gaz radioactifs présents dans la nature qui sont produits par la désintégration d'éléments de la famille de l'uranium et du thorium, respectivement. L'uranium et le thorium constituent les éléments primordiaux de certaines roches. Par diffusion, de petites quantités de radon et de thoron s'infiltreront dans les eaux souterraines et se dispersent dans l'atmosphère, où ces radionucléides peuvent se trouver en concentrations variables. Par désintégration, le radon et le thoron forment de nombreux descendants jusqu'à ce que des isotopes stables du plomb viennent compléter les familles de l'uranium et du thorium.

110. Le Comité a examiné les mécanismes d'émission de radon et de thoron à partir de sources naturelles et les variables qui influent sur ce processus (dimension des particules rocheuses, porosité, humidité); les mécanismes de diffusion de ces gaz dans l'eau et l'air ambiants; leur transfert à travers le sol et leur dégagement dans l'atmosphère; la dispersion dans l'atmosphère de ces gaz et de leurs produits de désintégration; et l'influence du gradient thermique vertical, de la force des vents et de la turbulence atmosphérique sur cette dispersion. En raison de sa courte période de radioactivité (une minute environ), on trouve le thoron seulement à quelques dizaines de mètres au-dessus du sol, alors que le radon, qui a une

période d'environ quatre jours, atteint une altitude de plusieurs kilomètres. La concentration de ces nucléides au sol est affectée par l'emplacement géographique et les conditions météorologiques, avec des variations saisonnières prononcées. D'ordinaire, les concentrations les plus élevées se trouvent dans les masses d'air au-dessus des régions continentales et les concentrations les plus faibles au-dessus des océans ou des régions arctiques. En plein air et au niveau du sol, la concentration moyenne annuelle de radon s'établit entre 0,1 et 10 Bq par mètre cube. Dans les régions peuplées, elle est d'ordinaire de 3 Bq par mètre cube.

111. En raison de la diffusion rapide du radon dans l'atmosphère, la concentration des descendants du radon au niveau du sol est en général inférieure à celle du radon lui-même, ainsi que le montre la mesure du facteur d'équilibre entre le radon et thoron, d'une part, et leurs descendants d'autre part. Ce facteur dépend de beaucoup d'autres conditions, telles que les constantes de désintégration des divers descendants, la concentration et la granulométrie des aérosols présents dans l'air, leur dépôt sur les surfaces environnantes et le taux d'échange atmosphérique, toutes conditions qui peuvent être étudiées dans le cadre d'expériences. Il importe de signaler, à des fins pratiques, qu'une aération insuffisante des espaces confinés peut entraîner une exposition élevée aux produits de désintégration du radon et du thoron.

112. La concentration du radon dans l'eau peut aller de virtuellement zéro à environ 100 MBq par mètre cube. Les doses d'irradiation causées par la présence de radon dans l'eau potable sont partiellement dues à l'ingestion, mais surtout à l'inhalation de produits de la désintégration du radon émanant de l'eau. Il est possible de calculer approximativement les doses provenant d'une concentration donnée de radon dans l'eau potable, mais comme les mesures signalées ont souvent été faites dans des régions connues pour leur haute teneur en uranium ou en radium, les résultats obtenus ne peuvent pas être considérés comme représentant des doses moyennes applicables à toute une région ou à un pays. Il ressort des renseignements dont on dispose que la dose émise par le radon dans l'eau potable ne présente pas généralement un risque sérieux d'irradiation pour la population, excepté dans quelques cas où, en raison de conditions géologiques particulières, la teneur en radon est exceptionnellement élevée.

113. Du fait que c'est à l'intérieur des bâtiments que l'homme reçoit la plus forte dose d'irradiation imputable au radon, le Comité a examiné un volume considérable de données sur les concentrations mesurées de radon et de thoron et de leurs produits de désintégration dans les habitations dans diverses régions du monde. Ces concentrations, normalement de l'ordre de 20 Bq par mètre cube, sont plus élevées qu'en plein air. De très fortes concentrations peuvent provenir d'un faible taux de ventilation ou de la présence de niveaux élevés de radon causés par la forte teneur en radium des matériaux de construction, du sol sous la maison, ou par l'emploi d'une eau riche en radium. Dans certaines conditions défavorables, il arrive que les concentrations atteignent ou dépassent 10 000 Bq par mètre cube d'air.

114. Les descendants du radon causent des risques d'irradiation dans les mines. Des mesures effectuées dans différentes mines et pays ont retenu l'attention du Comité. Elles ont montré que, en fonction du type de roche et des conditions de ventilation, les concentrations dans les mines d'uranium sont généralement inférieures à 1 000 Bq par mètre cube d'air. Toutefois, dans certaines parties non aérées des mines, elles peuvent être 1 000 fois plus élevées. Dans les mines autres que les mines d'uranium, la concentration moyenne est plus ou moins analogue, mais n'exige pas des mesures de ventilation aussi rigoureuses.

115. C'est par inhalation qu'on absorbe des produits de désintégration du radon et du thoron, et c'est l'appareil respiratoire qui est irradié. La dose effectivement délivrée aux différentes parties de l'organisme dépend de la proportion entre la fraction liée et la fraction libre de ces produits, de la distribution granulométrique des aérosols auxquels ils sont fixés et de la fonction pulmonaire. En moyenne, la dose imputable aux descendants du radon reçue par la couche des cellules basales de l'arbre bronchique est de cinq à huit fois plus élevée que celle déposée dans la région pulmonaire. On peut calculer l'équivalent de dose effectif applicable en utilisant un facteur de pondération pour la répartition régionale de la dose dans les poumons et la dose moyenne aux poumons. On trouvera au tableau 2 les moyennes mondiales des équivalents de dose effectifs annuels causés par inhalation de radon, de thoron et de leurs produits de désintégration. On estime qu'elles sont environ 25 p. 100 plus élevées dans les régions tempérées et 70 p. 100 plus basses dans les régions tropicales par rapport à ces moyennes mondiales. Il convient de signaler que sous les latitudes tempérées, la dose à l'intérieur des bâtiments est approximativement 15 fois plus élevée qu'en plein air, d'une part parce que les concentrations de gaz radioactifs sont plus élevées à l'intérieur des habitations et, d'autre part, parce que les gens passent en général plus de temps à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Tableau 2

Moyennes mondiales des équivalents de dose effectifs annuels (millisievert) dus à l'exposition aux descendants du radon et du thoron par inhalation dans divers milieux

Milieu	Descendants du radon	Descendants du thoron <u>a/</u>
Plein air <u>b/</u>	0,06	0,02
Intérieur des bâtiments <u>b/</u>	0,7	0,15
Mines d'uranium <u>c/</u>	~15	

a/ Chiffres tirés de données limitées.

b/ On a pris comme coefficient d'occupation, 0,8 à l'intérieur et 0,2 à l'extérieur.

c/ Ce chiffre s'applique aux années 1977-1979.

116. Vu l'importance que l'on attache à l'élaboration de programmes de conservation de l'énergie, le Comité a formulé quelques remarques d'ordre général sur l'accroissement de l'équivalent de dose effectif dû à l'inhalation de descendants du radon que peut entraîner la mise en oeuvre de ces programmes. Une ventilation réduite dans les usines, et surtout dans les mines, risquerait d'augmenter considérablement les équivalents de dose effectifs collectifs chez les travailleurs. Dans les habitations, selon le type, l'emplacement, le système de chauffage, la ventilation et d'autres facteurs, cette réduction aboutirait également à un accroissement de la dose, avec toutes les incidences que cela peut avoir sur la santé. Le Comité a présenté les grandes lignes des principes de base pour l'évaluation de l'incidence radiologique de telles mesures de conservation d'énergie.

3. L'irradiation due aux explosions nucléaires 9/

117. BIEN QUE LES EXPLOSIONS NUCLEAIRES DANS L'ATMOSPHERE AIENT DIMINUE D'INTENSITE PAR RAPPORT AUX PERIODES DE 1954 A 1958 ET DE 1961 A 1962, ON PROCEDE TOUJOURS DE TEMPS A AUTRE A DES ESSAIS DANS L'ATMOSPHERE. DU FAIT DE TOUTES CES EXPLOSIONS, LA POPULATION DU MONDE EST CONSTA'MENT EXPOSEE A DES RETOMBEES RADIOACTIVES. ON ESTIME QUE L'IRRADIATION DUE A L'ENSEMBLE DES ESSAIS NUCLEAIRES EFFECTUES EN 1980 EQUIVAUT A ENVIRON QUATRE ANNEES SUPPLEMENTAIRES D'EXPOSITION DE LA POPULATION MONDIALE ACTUELLE A L'IRRADIATION IMPUTABLE AUX SOURCES NATURELLES. LES RETOMBEES CONTINUERONT DE PROVOQUER DE FAIBLES DOSES D'IRRADIATION PENDANT DES ANNEES, DE SORTE QUE CHAQUE NOUVEL ESSAI NUCLEAIRE DANS L'ATMOSPHERE CONDAMNE LES GENERATIONS PRESENTES ET FUTURES A RECEVOIR UNE CERTAINE DOSE D'IRRADIATION SUPPLEMENTAIRE.

118. Le Comité a continué d'évaluer l'irradiation qu'a reçue la population mondiale à la suite du dégagement dans le milieu ambiant de substances radioactives libérées par les explosions nucléaires. On assiste à des explosions dans l'atmosphère depuis 1945 et des programmes d'essais nucléaires intensifs ont été exécutés de 1954 à 1958 et en 1961 et 1962. Il n'y a eu aucun essai en 1979 et 1981, mais d'autres explosions ont eu lieu vers la fin de 1980. Le Comité n'a pas étudié les irradiations imputables à de faibles émissions sans doute associées à des essais souterrain-

119. Les débris radioactifs d'explosions nucléaires pénètrent dans la troposphère et la stratosphère, le fractionnement dépendant du lieu et de la puissance de l'explosion. Le Comité a présenté des mesures estimatives des quantités de matières radioactives produites lors des essais nucléaires dans l'atmosphère, de leur dispersion dans les régions atmosphériques et du dépôt des débris sur la surface terrestre. Pour évaluer l'irradiation, on a tenu compte des vecteurs de pénétration dans l'organisme humain, notamment l'inhalation de contaminants en suspension dans l'air, l'ingestion de radionucléides dans les aliments et l'irradiation externe provenant de l'activité de ces substances dans le sol.

120. Le rapport établi par le Comité en 1977 contenait une estimation des engagements de dose à la population mondiale imputables aux essais nucléaires antérieurs à 1976. Le présent rapport met à jour ces estimations jusqu'à la fin de 1981. Le Comité a évalué séparément les engagements de doses aux populations des hémisphères Nord et Sud et la dose moyenne dans le monde. Ces estimations sont plus élevées dans l'hémisphère Nord que dans l'hémisphère Sud, car c'est dans cette partie du globe qu'ont eu lieu la plupart des essais et, par conséquent, que ce sont constitués la plupart des dépôts.

Tableau 3

Tableau récapitulatif des engagements d'effectifs équivalents de dose imputables aux explosions nucléaires dans l'atmosphère effectuées jusqu'à la fin de 1981 et des voies d'exposition

Lieu	Engagement d'équivalent de dose effectif (millisievert)	Voie d'exposition (pourcentage)		
		Ingestion	Irradiation externe	Inhalation
Zone tempérée nord	4,5	71	24	5
Zone tempérée sud	3,1	90	8	2
Monde	3,8	79	18	3

121. Le tableau 3 ci-dessus présente les résultats de l'étude du Comité sur les équivalents de dose effectifs imputables aux essais nucléaires engagés à la population des zones tempérées nord et sud et dans le monde. L'irradiation se fait essentiellement par ingestion et est due en grande partie au carbone 14, au césium 137 et au strontium 90; vient ensuite l'irradiation externe due au césium 137 et à plusieurs autres radionucléides à courte période. L'engagement d'équivalent de dose effectif collectif imputable aux essais effectués dans l'atmosphère jusqu'à la fin de 1981 est de 3×10^7 homme-sieverts. Ce chiffre, déterminé compte tenu de la croissance démographique estimative future dans le monde, équivaut à environ quatre années d'irradiation de la population par les sources naturelles au niveau actuel. L'engagement de l'équivalent de dose effectif collectif peut être attribué en grande partie aux programmes d'essai exécutés en 1961 et 1962 (correspondant respectivement à 580 et 370 journées d'exposition de la population mondiale aux rayonnements de source naturelle). La dose annuelle par habitant a atteint en 1963 un plafond correspondant à environ 7 p. 100 de l'exposition moyenne annuelle aux sources naturelles. Cette proportion est tombée en 1966 à environ 2 p. 100 et est actuellement inférieure à 1 p. 100.

122. Pour établir ces évaluations, le Comité a pris 21 radionucléides, dont quatre seulement contribuent pour plus de 1 p. 100 à l'engagement d'équivalent de dose effectif collectif à la population mondiale. Il s'agit, par ordre d'importance décroissante, du carbone 14, du césium 137, du zirconium 95 et du strontium 90. Le zirconium 95 dégagé à la suite des essais effectués jusqu'en 1981 ne contribue plus, depuis longtemps déjà, à la dose engagée à la population mondiale. En ce qui concerne le césium 137 et le strontium 90, la plus grande partie de la dose qui leur est imputable aura été délivrée d'ici la fin du siècle. Seul le carbone 14, qui a une longue période de radioactivité, continuera encore longtemps à contribuer à cette dose, mais en très faibles quantités. A longue échéance, il faudra peut-être aussi tenir compte des produits de désintégration à longue période des actinides mais, d'après les observations préliminaires, leur contribution est délivrée à un débit très faible (de l'ordre de 0,1 p. 100 du total de l'engagement d'équivalent de dose effectif).

123. L'évaluation des doses imputables aux retombées radioactives qui figure dans le présent rapport ne diffère pas sensiblement de celles indiquées dans le passé, par le nombre réduit d'explosions nucléaires qui ont eu lieu ces dernières années a dégagé relativement peu de radioactivité. Les évaluations de doses actuelles sont cependant plus complètes, du fait qu'elles tiennent compte d'un plus grand nombre de nucléides et d'autres vecteurs éventuels de transport, que l'on a réévalué les facteurs transfert et que l'on a utilisé les mesures les plus récentes des retombées radioactives pour calculer les doses estimatives. Néanmoins, il subsiste encore quelques incertitudes en ce qui concerne les mesures et l'établissement de modèles. On peut raisonnablement prévoir qu'en acquérant de nouvelles connaissances, le Comité apportera quelques modifications et améliorations mineures à ses évaluations.

4. L'irradiation due à la production d'énergie nucléaire 10/

124. L'ENGAGEMENT DE DOSE COLLECTIVE PROVENANT DE LA CONTAMINATION DE L'ENVIRONNEMENT DUE A L'EXPLOITATION DE REACTEURS NE CONTRIBUE QUE DANS UNE FAIBLE MESURE A L'INCIDENCE RADIOLOGIQUE TOTALE DU CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE. L'EXTRACTION ET LE TRAITEMENT DE L'URANIUM CONTRIBUENT DANS UNE MESURE IMPORTANTE A L'ENGAGEMENT DE DOSE COLLECTIVE, EN RAISON DES EMANATIONS DE RADON ET DE SES DESCENDANTS QUI SE DEGAGENT DES RESIDUS DES USINES. DANS L'ETAT ACTUEL DE LA TECHNOLOGIE, IL Y A LIEU DE S'ATTENDRE A CE QU'UNE AUGMENTATION DE LA PUISSANCE NUCLEAIRE INSTALLEE ENTRAINE UN ACCROISSEMENT DE L'ENGAGEMENT DE DOSE DU A L'ENERGIE NUCLEAIRE. L'UTILISATION DU PLUTONIUM DANS LE RECYCLAGE, DANS DES SURREGENERATEURS RAPIDES OU D'AUTRES TECHNIQUES DE POINTE TOUCHANT LE CYCLE DU COMBUSTIBLE REDUIRAIT SENSIBLEMENT L'ENGAGEMENT DE DOSE COLLECTIVE PAR UNITE D'ENERGIE PRODUITE.

125. Le nombre de réacteurs nucléaires utilisé pour la production d'électricité a augmenté depuis le dernier rapport du Comité : en 1979, on comptait 235 réacteurs dans 22 pays pour une puissance nucléaire installée totale d'environ 120 gigawatts [GW(e)], c'est-à-dire qu'elle a doublé au cours de la période 1975 à 1979 sur laquelle porte le rapport du Comité. Les projections pour l'an 2000 sont encore quelque peu incertaines, mais l'on prévoit actuellement une puissance de 1 000 à 1 600 GW(e), soit environ les deux tiers de la puissance projetée dans le rapport précédent pour la même année. Les estimations révisées dans plusieurs pays confirment que l'augmentation de la capacité de production sera inférieure à celle prévue auparavant.

126. Le cycle du combustible nucléaire comprend toute une série d'opérations : extraction et traitement du minerai d'uranium; conversion du minerai en diverses formes chimiques; enrichissement de la teneur isotopique de l'uranium 235 (dans certains cas); fabrication des éléments combustibles; production d'énergie dans les réacteurs nucléaires; retraitement du combustible irradié et recyclage des nucléides fissiles et fertiles récupérées (dans certains cas); transport des matières nucléaires entre les installations à diverses étapes du cycle du combustible; enfin, élimination des déchets radioactifs. Bien que presque toute l'activité artificielle liée à la production d'énergie nucléaire soit contenue dans le combustible nucléaire irradié, il y a, à chaque étape du cycle ci-dessus, libération de petites quantités de substances radioactives dans l'environnement. En raison de la courte période des radionucléides et à leur mobilité limitée dans

l'environnement, la plupart de ces émissions ne posent de problèmes qu'à l'échelon local ou régional. Cependant, certains radionucléides, qui ont des périodes très longues ou qui se dispersent rapidement, se propagent dans le monde entier et peuvent contribuer à l'irradiation de l'homme et de l'environnement à l'échelle mondiale.

127. Pour chaque étape du cycle du combustible nucléaire, le Comité a évalué les doses aux populations imputables à la libération de matières radioactives. Cette évaluation a été calculée en termes d'engagement de dose collective absorbée par unité d'énergie produite, c'est-à-dire en homme gray par GW(e) par an. On a examiné dans le détail à l'annexe A les modèles qui permettent de convertir l'engagement de dose absorbée aux divers organes ou tissus en engagement d'équivalent de dose effectif par unité d'électricité produite.

128. L'émission dans le milieu ambiant de radiations provenant d'installations nucléaires étant soumise à un contrôle technique, les doses à la population sont généralement bien en-deçà des limites recommandées. On distingue quatre groupes de personnes exposées à ces sources d'irradiation : celles qui travaillent dans les installations nucléaires; la population locale qui réside dans un rayon de quelques centaines de kilomètres de ces installations; la population régionale dans un rayon de plusieurs milliers de kilomètres; enfin, la population mondiale. On se bornera ici à examiner les trois derniers groupes, l'irradiation professionnelle faisant l'objet d'une étude séparée à l'annexe H.

129. Les concentrations d'effluents dégagés par les installations nucléaires étant faibles au point d'émission et extrêmement faibles dans le milieu ambiant, il faut recourir à des modèles si l'on veut estimer les doses à la population sur de longues distances et pour de longues périodes. Dans ces modèles, c'est à partir des résultats de mesures de surveillance de l'environnement et d'expériences de types divers que l'on détermine les paramètres de transfert des divers radionucléides. Les éléments de base les plus importants de ces modèles sont la quantité et le type de matières radioactives que dégagent les installations nucléaires. Le Comité, qui disposait de ces données essentiellement pour la période allant jusqu'en 1979, les a converties en dégagements moyens par GW(e), en 1975 et 1979. Ces moyennes ne s'appliquent à aucune installation particulière et traduisent les différences dans la conception des réacteurs et les changements des taux d'émission entre les nouveaux et les anciens réacteurs. Certes, ces taux normalisés sont censés représenter la situation actuelle de la production d'énergie nucléaire dans le monde, mais on ne peut les appliquer par extrapolation à des méthodes futures ou à des installations déterminées qu'avec une grande prudence et en apportant les corrections nécessaires.

130. Pour estimer les engagements de dose collective correspondant aux dégagements normalisés susmentionnés, le Comité s'est servi dans ses évaluations de sites hypothétiques dont les caractéristiques représentent dans l'ensemble chacune des principales étapes du cycle du combustible, à savoir l'extraction et le traitement, la fabrication du combustible, l'exploitation des réacteurs et le retraitement. Il a également supposé que chacune des installations modèles émettait ses radionucléides dans un environnement hypothétique où l'on retrouverait les principales caractéristiques des sites existants et qui permettrait de calculer les doses de radionucléides transférés dans l'organisme humain par les voies les plus

communes. Il convient de souligner que des généralisations aussi vastes, qui visent à fournir des estimations de l'incidence globale des installations nucléaires dans le monde, ne s'appliquent à aucun site particulier. Pour effectuer des calculs par site, il faudrait avoir des données sur les émissions, les caractéristiques de l'environnement local et régional et les vecteurs effectifs de pénétration des radionucléides dans l'organisme humain.

131. Pour calculer l'engagement de dose collective, il faut faire la somme des débits de dose instantanée absorbée par chaque organe ou chaque tissu sur toute la période d'exposition. Il ne s'agit pas là d'une opération facile, et le comité s'est servi de chiffres approximatifs concernant la population mondiale et les habitudes alimentaires et autres des individus exposés, que l'on a supposées stables durant la période considérée. En se fondant sur ces hypothèses générales, le Comité a examiné les différentes étapes du cycle du combustible nucléaire et calculé les doses à la population des divers nucléides et les voies d'irradiation applicables à chacune des sources d'exposition.

132. Finalement, le Comité a essayé d'évaluer l'engagement équivalent de dose effectif collectif à la population imputable à la production d'énergie nucléaire. Comme on l'a vu à l'annexe A, ces chiffres indiquent le préjudice global causé à la santé humaine par cette source d'irradiation dans le cadre des hypothèses posées. Dans le tableau 4, ces quantités sont normalisées à un GW par an d'électricité produite. Au cours des 100 prochaines années, le total sera d'environ 20 homme-sieverts par GW par an, mais l'irradiation se poursuivra encore pendant de très longues périodes, quoiqu'à un débit annuel très faible. Le tableau 4 montre l'accumulation dans le temps des doses collectives engagées par GW par an, qui peut aller jusqu'à 10 000 ans.

Tableau 4

Estimations des engagements d'équivalent de dose effectif (homme-sievert) à la population, dus à la production d'énergie nucléaire, normalisés à 1 GW par an d'électricité produite, et de leur accumulation dans le temps

Années	Opérations du cycle du combustible (à l'exclusion de l'élimination des résidus et des déchets)		Déchets d'usine	Élimination des déchets de haute activité
	Contributions locales et régionales	Contributions mondiales		
10 ²	6	12	< 3	0
10 ⁴	6	70	< 500	0

133. Le tableau 4 ne donne aucune estimation pour des périodes de plus de 10 000 ans, durant lesquelles il est probable que les émanations de radon provenant des déchets d'usine et de l'iode 129 rejetée par les installations de retraitement ou les dépôts de combustible irradié seront les principales sources d'irradiation.

En effet, pour de telles périodes, les méthodes de calcul adoptées par le Comité (qui tendent à prendre plutôt des chiffres inférieurs) auraient donné des engagements d'équivalent de dose collective plus élevés, n'excédant pas quelques milliers d'homme-sieverts par GW(e) par an dans les colonnes "contributions mondiales" et "déchets d'usine" combinées et ne dépassant pas quelques dizaines d'homme-sieverts par GW(e) par an dans la colonne "élimination des déchets de haute activité". Il est toutefois difficile d'expliquer brièvement les incertitudes liées aux évaluations de dose dans un avenir lointain et l'utilité limitée qu'elles présentent. Pour plus amples renseignements, le lecteur se reportera à l'annexe F, en particulier aux paragraphes 194 à 201 et 207 à 212.

134. La dose locale et régionale provenant d'opérations du cycle du combustible est estimée à 5,7 homme-sieverts par GW(e) par an, 0,5 H/Sv étant dû à l'extraction, au traitement et à la fabrication du combustible, 4,2 H/Sv à l'exploitation des réacteurs et 1 H/Sv au retraitement du combustible. Quarante-vingt-dix pour cent de cette dose est engagée dans l'année qui suit l'émission et le reste durant les quelques années suivantes. Pour les nucléides qui se dispersent dans le monde entier, l'engagement de dose collective est de 670 homme-sieverts par GW(e) par an, dont 90 p. 100 sont délivrés entre 10^4 et 10^8 années à partir de l'émission. Tous les chiffres concernant cette estimation future sont hypothétiques. C'est notamment le cas pour les chiffres applicables aux déchets d'usine, que de nouvelles méthodes de gestion ou des changements climatiques pourraient faire baisser de plusieurs ordres de grandeur. De même, l'utilisation de surrégénérateurs rapides peut réduire les besoins en minerai d'uranium de deux ordres de grandeur et, partant, dans la même proportion, l'engagement de dose imputable aux déchets. D'autres techniques de pointe du cycle du combustible pourraient également amener des réductions importantes.

135. Les études sur l'engagement de dose dû à l'évacuation des déchets radioactifs de haute activité dans des formations géologiques profondes indiquent que, pour plusieurs milliers d'années encore, cette source d'irradiation est négligeable, comparée à celle d'autres sources. En effet, pour des périodes supérieures à 10 000 ans, cette dose ne serait que de 0,1 à 1 p. 100 du total de l'engagement de dose normalisé attribuable à la production d'énergie nucléaire.

136. Pour estimer la dose maximale par habitant ou la dose moyenne annuelle dans l'avenir due à la production d'énergie nucléaire, on doit partir d'un engagement de dose collective incomplet, pris ici pour 500 ans. Les émissions provoquées au cours des différentes opérations du cycle du combustible nucléaire donnent l'engagement d'équivalent de dose effectif collectif local et régional pour cette période. Dans le cas des nucléides à dispersion mondiale, l'engagement de dose collective incomplet, pour 500 ans est de 18 homme-sieverts par GW(e) par an. Si l'on a choisi de fixer à 500 ans la durée moyenne de la production d'énergie par fission nucléaire, c'est en partant de l'hypothèse que l'on utilisera des surrégénérateurs, méthode qui réduirait le taux d'extraction. De ce fait, l'engagement de dose collective incomplet, provenant de l'extraction et du traitement dans les conditions actuelles du cycle du combustible, s'applique à 100 ans et sera vraisemblablement exclusivement imputable aux dégagements de radon; les estimations donnent 2,5 homme-sieverts par GW(e) par an. Ainsi donc, en supposant - au pire - que l'on n'enregistre aucun progrès technique et que les débits de dégagement actuels restent les mêmes pendant 500 ans, la dose collective

annuelle maximale serait de 25 homme-sieverts par GW(e) par an. On trouvera au tableau 5 les doses annuelles collectives et par habitant pour un programme nucléaire théorique jusqu'en l'an 2500, calculées ici encore en partant d'une intensité d'émission non réduite et d'une production d'électricité de l'ordre de 10^4 GW(e) par an, en l'an 2500. On peut voir que, même en partant de ces hypothèses maximales, le niveau de la dose annuelle par habitant dû aux rejets d'effluents équivaldrait à 1 p. 100 de l'irradiation moyenne imputable aux sources naturelles. Après la fin des opérations, les doses par habitant tomberaient au bout de 100 ans à environ 1 p. 100 des doses finales.

Tableau 5

Doses annuelles par habitant provenant de la production continue d'électricité nucléaire jusqu'en l'an 2500

	Année			
	1980	2000	2100	2500
Production nucléaire annuelle projetée GW(e) par an	80	1 000	10 000	10 000
Dose collective effective annuelle (homme-sieverts)	500	10 000	200 000	250 000
Population mondiale (en milliards)	4	10	10	10
Dose annuelle par habitant (microsieverts)	0,1	1	20	25
Pourcentage d'irradiation moyenne par rapport aux sources de rayonnement naturel	0,005	0,05	1	1

137. Il convient de ne pas perdre de vue que toute extrapolation dans l'avenir est très aléatoire et dans une grande mesure spéculative. On peut constater par exemple que, au cours de la dernière décennie, la mise au point de nouvelles méthodes de protection contre les rayonnements, la conception améliorée des nouvelles installations et le réaménagement des anciennes usines ont réduit les émissions de radionucléides dans l'environnement, et ce en dépit d'un accroissement de la production d'électricité.

138. Le Comité a essayé, pour la première fois, d'évaluer l'engagement de dose collective dû à l'émission accidentelle de matières radioactives, en se fondant sur les données relatives à l'irradiation de la population et de l'environnement causée par deux graves accidents. Il n'a pas été possible, avec ces renseignements, d'évaluer rétrospectivement la part d'engagement de dose collective imputable à l'émission accidentelle de substances radioactives au cours de l'exécution de programmes d'énergie nucléaire.

5. L'irradiation professionnelle 11/

139. LE COMITE A REVISE SON EVALUATION DES DOSES MOYENNES AUXQUELLES SONT EXPOSES DIVERS GROUPES DE TRAVAILLEURS ET DE DOSES COLLECTIVES ABSORBEES DANS LE CADRE DE L'EXERCICE DE DIVERSES PROFESSIONS. IL A PERFECTIONNE LES METHODES QUI, LORS DE L'ELABORATION DU PRECEDENT RAPPORT, AVAIENT ETE MISES AU POINT POUR DETERMINER LES PARAMETRES RELATIFS A LA DISTRIBUTION DES DOSES ET POUVANT SERVIR DE POINTS DE COMPARAISON. CETTE ANALYSE A PERMIS AU COMITE D'EVALUER LES DOSES COLLECTIVES D'IRRADIATION AUXQUELLES SONT EXPOSEES LES PERSONNES EXERCANT CERTAINES PROFESSIONS, ET D'IDENTIFIER PLUSIEURS GROUPES DE PERSONNES EXPOSEES A UNE IRRADIATION MOYENNE SUPERIEURE PAR RAPPORT A D'AUTRES GROUPES. LA VALEUR ABSOLUE DE CES DOSES PEUT VARIER D'UNE INSTALLATION A L'AUTRE, DE MEME QU'ENTRE DES PERSONNES EFFECTUANT DES TACHES SIMILAIRES DANS DIFFERENTS PAYS. CEPENDANT, POUR DES OPERATIONS DE ROUTINE, LA DIFFERENCE QUANTITATIVE DES DOSES NE DEPASSE GENERALEMENT PAS 50 P. 100 DES LIMITES DE DOSE AUTORISEES.

140. Comme par le passé, le Comité a mis à jour et analysé les informations disponibles sur les rayonnements auxquels diverses catégories de personnes sont exposées dans l'exercice de leur profession. Il faut bien connaître les données relatives à l'irradiation professionnelle, tant individuelle que collective, pour évaluer les tendances de l'évolution des doses imputables à diverses pratiques, pour évaluer le niveau des risques individuels auxquels sont exposées les personnes travaillant sous irradiation par rapport à d'autres groupes professionnels, et pour évaluer l'impact radiologique total que la population subit de différentes sources, impact exprimé par rapport à une unité employée dans le domaine d'activité en cause. Les différences qui existent entre les méthodes générales employées pour surveiller les personnes travaillant sous irradiation dans divers pays, ainsi que des problèmes techniques, rendent plus difficile la comparaison des données disponibles et, dans une certaine mesure, en limitent l'utilité. Toutefois, le Comité est convaincu qu'une analyse judicieuse des informations existantes peut néanmoins être très précieuse, et peut au moins fournir des renseignements préliminaires objectifs qui répondraient aux besoins susmentionnés.

141. Dans son précédent rapport, le Comité a proposé certains paramètres d'une distribution des doses qui servirait de point de comparaison et a proposé une distribution de référence à seule fin de comparaison. La forme log-normale de distribution devait refléter le fait que dans de nombreuses professions donnant lieu à une irradiation, la majorité des personnes employées ne subit que de faibles doses et quelques personnes seulement subissent des doses relativement élevées. Cette distribution de référence n'a pas reçu l'attention qu'elle méritait, de sorte que le Comité a fini par revoir ses techniques d'analyse afin de permettre des comparaisons directes des distributions de doses avec une gamme de valeurs normalisées. Les paramètres choisis pour la comparaison sont la dose collective annuelle, la dose moyenne qui dépend du nombre de personnes irradiées, et la proportion de la dose collective reçue sous forme de doses individuelles annuelles dépassant un certain niveau, fixé à 15 milligrays. Que cette méthode d'analyse soit de plus en plus largement reconnue en prouve l'utilité, et le Comité aimerait insister sur la nécessité de rendre compte des doses sous une forme susceptible d'améliorer ces analyses.

Tableau 6

Tableau récapitulatif des équivalents de dose effectifs collectifs par unité de puissance produite, auxquels sont soumises des personnes travaillant à différentes phases du cycle du combustible nucléaire

Opérations	Equivalents de dose effectifs collectifs par unité d'énergie produite (homme-sieverts par GW [e] par an)
Extraction et traitement	1
Fabrication du combustible	1
Exploitation des réacteurs	10
Retraitement du combustible	10
Recherche nucléaire	5
TOTAL	~30

142. Les travaux du Comité ont porté sur plusieurs catégories d'irradiation professionnelle. En ce qui concerne le cycle du combustible nucléaire, il a étudié systématiquement l'irradiation des personnes travaillant dans les opérations d'extraction et de traitement, la fabrication du combustible, diverses opérations liées au fonctionnement des réacteurs nucléaires, le retraitement du combustible et la recherche-développement nucléaire. On dispose d'un volume croissant de renseignements sur ces questions et, parmi les principaux groupes professionnels travaillant sous irradiation, ceux qui sont soumis aux doses les plus élevées sont les travailleurs de l'industrie d'extraction de l'uranium. Il est également possible de calculer les doses d'irradiation par unité caractéristique de la pratique considérée. C'est ainsi que l'équivalent de la dose collective annuelle totale pour les personnes travaillant dans toutes les opérations susmentionnées est évalué approximativement à 30 homme-sieverts par GW par an : le détail des doses imputables à chaque opération, qui figure au tableau 6, indique que l'exploitation des réacteurs et le retraitement du combustible sont, de loin, les sources d'irradiation professionnelle les plus importantes. Dans l'ensemble, les données ne présentent pas de différence marquante par rapport aux précédentes évaluations du Comité. Toutefois, il est difficile de distinguer de l'ensemble la recherche qui est plus particulièrement axée sur le cycle du combustible nucléaire et par conséquent, une évaluation précise de cet élément est impossible; il y a lieu de croire que les doses (calculées en unité caractéristique de la pratique) qui lui sont imputables sont inférieures à celles mentionnées dans les précédents rapports. Si l'on considère que l'énergie nucléaire produite en 1979 représentait une puissance de 70 GW par an, la dose collective d'irradiation professionnelle pour cette année serait environ de 2 000 homme-sieverts.

143. D'autres catégories d'irradiation professionnelle ayant fait l'objet d'une étude sont liées à des utilisations médicales et industrielles, ainsi qu'à la recherche-développement faisant intervenir les rayonnements ionisants et les radionucléides. Les doses individuelles subies par le personnel médical peuvent certes être importantes, mais la part générale que représente cette catégorie est relativement faible. On peut en juger d'après l'équivalent de la dose collective annuelle par million d'habitants; cette quantité varie d'un pays à l'autre, mais en principe, pour des pays qui bénéficient d'un niveau élevé de soins médicaux, elle est de l'ordre d'un homme-sievert par million d'habitants. On a identifié certains cas particuliers, dans le contexte des utilisations industrielles des rayonnements, où de plus amples renseignements sont nécessaires, notamment dans le domaine de la radiographie industrielle. Parmi les autres groupes importants de personnes travaillant sous irradiation, on peut également citer les équipages des aéronefs et les mineurs travaillant à l'extraction de minerais autres que l'uranium. L'impact total de toutes ces utilisations, auxquelles il faut ajouter la recherche dans le domaine de l'énergie non nucléaire, est d'environ 1,5 homme-sievert par million d'habitants.

144. Le Comité a rassemblé et analysé les renseignements portés à son attention sur la question des irradiations accidentelles subies dans le cadre d'une activité professionnelle. Toutes les données confirment que les radiographes industriels, en particulier ceux qui manipulent des sources mobiles, constituent la catégorie professionnelle la plus exposée à ce genre d'accident. Un mauvais maniement des sources et du matériel, auxquels s'ajoutent bien souvent des défaillances techniques, l'insuffisance de la formation et les erreurs humaines, semblent être parmi les causes les plus fréquentes de ces accidents. Pendant les premiers temps de la mise au point de l'énergie nucléaire, on a signalé de graves accidents entraînant la mort dans plusieurs cas. Le nombre total d'incidents et d'accidents dont il est fait état semble très faible compte tenu du nombre de personnes en contact avec des rayonnements ionisants et de la radioactivité dans le cadre de leur travail, mais la répartition des accidents selon les différentes professions est très inégale.

145. Le Comité a fait un certain nombre de recommandations en ce qui concerne les domaines où une analyse plus approfondie des données est nécessaire pour en tirer des renseignements utiles; il s'agit notamment de l'évolution de l'accumulation des doses au cours d'une vie professionnelle, étude qui pourrait être très efficacement réalisée par les personnes chargées de rassembler les données. Si ces recommandations sont mises en pratique, on devrait avoir une vision beaucoup plus claire de la situation générale des irradiations professionnelles dans toutes les catégories de travaux d'ici quelques années.

6. L'irradiation médicale 12/

146. L'IRRADIATION MEDICALE SE CARACTERISE PAR DES DOSES ELEVEES ET DES DISTRIBUTIONS TRES INEGALES DE LA DOSE. COMPTE TENU DE CE DERNIER ELEMENT, IL EST UTILE DE RECOURIR A DES NOTIONS TELLES QUE L'EQUIVALENT DE DOSE EFFECTIF, MAIS CETTE NOTION PRESENTE DES INCONVENIENTS IMPORTANTS LORSQU'ON L'APPLIQUE A DES PATIENTS. TOUTEFOIS, UN USAGE PRUDENT DE LA NOTION D'EQUIVALENT DE DOSE EFFECTIF SEMBLE INDICHER QUE LE DOMMAGE RELATIF RESULTANT DE DIVERS TYPES D'EXAMENS MEDICAUX POURRAIT ETRE DIFFERENT DE CELUI MENTIONNE DANS LES RAPPORTS PRECEDENTS, LESQUELS METTAIENT L'ACCENT SUR LA DOSE GENETIQUEMENT SIGNIFICATIVE ET LA DOSE D'IRRADIATION MOYENNE DE LA MOELLE OSSEUSE. DES RENSEIGNEMENTS PRELIMINAIRES CONCERNANT LES PRATIQUES RADIOLOGIQUES EN APPLICATION DANS CERTAINS PAYS EN DEVELOPPEMENT DONNENT A PENSER QUE LES DEUX TIERS DE LA POPULATION MONDIALE VIT DANS DES PAYS OU LES EXAMENS RADIOLOGIQUES SONT DIX FOIS MOINS FREQUENTS QUE DANS LES PAYS DEVELOPPES.

147. Une part importante de la dose collective globale est émise lors de procédures radiologiques. L'irradiation médicale représente la plus grande proportion des irradiations artificielles subies par la population, et dans certains pays industrialisés, cette proportion équivaut pratiquement à celle des doses imputables aux sources naturelles. La principale différence qui la distingue des autres sources d'irradiations réside dans le fait que les personnes qui subissent les doses sont généralement celles-là mêmes qui sont censées tirer un avantage direct des procédures faisant intervenir une irradiation.
148. Les rayonnements sont utilisés en médecine pour établir des diagnostics ou pour traiter des maladies, en particulier le cancer. Les doses reçues par les patients sont extrêmement variables : elles peuvent être très faibles, notamment lors de divers examens diagnostiques, ou très élevées, notamment en radiothérapie. Bien que toutes les doses individuelles s'ajoutent pour constituer la dose collective reçue par l'ensemble de la population, l'essentiel de cette dose collective provient de petites doses intéressant de nombreux individus, et non de doses élevées subies par un nombre relativement faible de patients en radiothérapie.
149. L'analyse faite par le Comité des niveaux d'irradiation subis imputables à des examens ou traitements médicaux a une portée très large. En premier lieu, le Comité estime qu'il faut bien connaître les irradiations médicales individuelle et collective pour pouvoir les placer dans un contexte approprié par rapport aux autres sources d'irradiation humaine. En deuxième lieu, il est nécessaire d'analyser les doses que subissent différents organes - ainsi que leur gamme de variabilité - dans le cas de divers types d'examens radiologiques, pour déterminer et comparer les risques imputables à certaines pratiques déterminées. Enfin, il pourrait être possible sur la base de cette étude, d'identifier des groupes de patients ayant subi des doses élevées, que l'on pourrait suivre ultérieurement, afin d'évaluer plus précisément, par des études épidémiologiques, les effets des séquelles imputables aux procédures radiologiques.
150. Compte tenu de l'importance de l'irradiation médicale et des possibilités considérables qui existent de la réduire sensiblement, le Comité a examiné et réexaminé les renseignements pertinents afin de suivre de près l'évolution de la tendance. Les précédents rapports étaient principalement axés sur les doses administrées aux gonades, en vue d'en déduire des évaluations des risques génétiques éventuels résultant de l'irradiation, grâce à la dose dite génétiquement significative. Plus récemment, on a étudié de plus en plus les doses absorbées par d'autres organes afin d'identifier les procédures médicales entraînant des doses particulièrement élevées d'irradiation des organes. Le Comité a suivi cette même orientation dans le présent rapport.
151. Le Comité a examiné les renseignements disponibles sur la fréquence totale des examens aux rayons X aux fins de diagnostic indiquant que leur taux peut varier de 300 à 900 examens par an pour 1 000 habitants dans les pays industrialisés, sans compter les études de masse et les examens dentaires. Les examens du squelette et du thorax se sont révélés être les plus fréquents dans nombre de pays. On a fait un effort particulier pour étudier la situation de la radiologie diagnostique dans les pays en développement, avec la collaboration de l'Organisation mondiale de la santé, en rassemblant des renseignements sur le nombre d'habitants ayant accès aux services radiologiques. On s'est aperçu que le matériel était rare et mal réparti dans ces pays, la population rurale n'ayant qu'un accès limité aux installations. Dans les pays industrialisés, une tendance prononcée à la réduction des irradiations individuelles a été constatée sur pièces pour plusieurs types d'examens tels que la radiographie dentaire et la mammographie.

152. Les doses absorbées par divers organes et tissus ayant retenu l'attention du Comité variaient de moins de 0,01 milligray à 50 milligrays par examen, en considérant tous les types d'examens radiodiagnostiques. On a accordé une attention particulière à certains examens aux rayons X, pour plusieurs raisons : soit parce qu'ils étaient très courants et pouvaient donc représenter une part substantielle de la dose collective (par exemple, les examens dentaires); soit parce qu'ils faisaient intervenir une irradiation de tissus connus pour avoir un degré de sensibilité élevé aux cancers radio-induits (par exemple, la mammographie). Dans les deux cas, on a constaté une tendance à la réduction des doses administrées au cours d'un même examen, tendance due à l'amélioration des conditions techniques dans lesquelles se fait l'irradiation.

153. Dans deux pays développés, l'équivalent de dose effectif collectif imputable à la radiologie diagnostique a été évalué respectivement à 600 et 1 800 homme-sieverts par million d'habitants. En l'absence de toute autre donnée, le Comité a provisoirement, aux fins de l'établissement du présent rapport, assigné la quantité arrondie de 1 000 homme-sieverts par million d'habitants à l'équivalent de dose effectif collectif annuel pour les pays développés, ce qui correspond à peu près à 50 p. 100 de l'irradiation imputable aux sources naturelles de rayonnements. La valeur correspondante pour les pays en développement peut être dix fois moins élevée, si bien qu'une moyenne pondérée pour le monde entier serait de l'ordre de 400 homme-sieverts, soit environ 20 p. 100 de l'irradiation moyenne imputable aux sources naturelles.

154. Les examens de médecine nucléaire représentent, dans l'ensemble, une part relativement faible de l'irradiation de la population due aux sources médicales, par rapport aux procédures de diagnostic aux rayons X. Cependant, on estime que la valeur de l'équivalent de dose effectif collectif pourrait être extrêmement variable du fait des différences de pratique radiologiques des divers pays et de la gamme variable des maladies dont peuvent souffrir différentes populations. En ce qui concerne les irradiations radiothérapeutiques, le Comité a analysé les données rassemblées par l'AIEA et l'OMS sur la disponibilité et l'usage du matériel thérapeutique dans plusieurs pays. Ces données indiquaient simultanément une tendance générale à l'accroissement des services et une répartition très inégale entre pays développés et pays en développement.

155. En ce qui concerne l'équivalent de dose génétiquement significative, le Comité considère que le chiffre pouvant s'appliquer aux pays développés sur lesquels on dispose de renseignements serait grosso modo de 0,1 à 0,2 millisievert par an, si l'on tient compte de tous les éléments de la dose reçue au cours de pratiques médicales. Les chiffres correspondants pour les pays en développement seraient environ dix fois moins élevés.

156. Le Comité souhaiterait qu'à l'avenir, les rapports faisant état de statistiques relatives à l'irradiation médicale soient établis de manière à permettre une évaluation plus précise des quantités susmentionnées.

7. Résumé et conclusions

157. Dans le présent rapport, le Comité s'est servi de diverses quantités pour évaluer l'irradiation imputable aux sources de rayonnement qu'il a examinées. Les taux de l'équivalent de dose effectif individuel ont servi à montrer la variabilité des irradiations individuelles en fonction du lieu, de la profession, du moment ou d'autres facteurs. En faisant la somme de tous les taux de

l'équivalent de dose effectif individuel, on a également obtenu les taux de l'équivalent de dose effectif collectif, qui expriment pour une période donnée la quantité de rayonnements imputables à une source ou une pratique donnée.

158. Il est intéressant d'étudier l'évolution des taux de l'équivalent de dose effectif collectif depuis quelques dizaines années. La figure II a) indique les parts relatives des irradiations imputables aux utilisations médicales des rayonnements, aux explosions nucléaires dans l'atmosphère et à la production d'énergie nucléaire, exprimée sous forme de pourcentages de l'irradiation moyenne due aux sources naturelles. Les chiffres relatifs à l'irradiation médicale et à la production d'énergie nucléaire tiennent compte à la fois des personnes travaillant sous irradiation et du public. On estime que la part de l'irradiation médicale ne s'est pas modifiée sensiblement au fil des années alors que la part des explosions nucléaires a suivi une évolution irrégulière dominée par une tendance à la baisse depuis 1963, avec de légères variations dues à des explosions plus récentes. L'équivalent de dose effectif collectif annuel imputable à la production d'électricité par énergie nucléaire a subi une augmentation continue, due à l'expansion des programmes d'énergie nucléaire, mais sa part se situe à un niveau nettement inférieur.

159. Malgré les nombreuses incertitudes, il est peu probable qu'il apparaisse des erreurs d'ordre de grandeur dans les chiffres de la figures II a), dont on peut par conséquent tirer certaines conclusions générales. Parmi les diverses sources de rayonnements, les sources naturelles sont de loin les plus importantes, avec un équivalent de dose effectif annuel moyen de 2 millisieverts.

160. En ce qui concerne les sources anthropogènes, la part la plus importante revient aux utilisations médicales des rayonnements, en particulier à des fins de diagnostic. L'équivalent de dose effectif annuel moyen des utilisations médicales des rayonnements de par le monde est évalué à environ 0,4 millisievert, ce qui correspond approximativement à 20 p. 100 de l'exposition annuelle moyenne du fond d'irradiation naturelle. Le Comité estime qu'il est tout à fait possible de réduire la dose d'une manière compatible avec les objectifs des pratiques. Etant donné que cette dose est relativement élevée, le gain correspondant devrait être important.

161. La somme des taux de l'équivalent de dose effectif collectif sur une certaine période permet d'obtenir les engagements de l'équivalent de dose effectif collectif que l'on considère être proportionnels à l'effet total que peut avoir une source ou une pratique donnée sur la santé. Ces sources ou pratiques pourraient être, par exemple, les explosions nucléaires déclenchées jusqu'ici dans l'atmosphère; ou bien la quantité d'énergie que la fission nucléaire produit actuellement en un an; ou encore l'extraction d'une tonne de minerai de phosphate. Les engagements globaux de l'équivalent de dose effectif collectif sont les quantités qui permettent le mieux de comparer les dommages devant normalement résulter de l'irradiation produite par différentes sources de rayonnements.

162. Dans son rapport de 1977, le Comité a adopté un tableau qui résumait ses estimations des doses globales et dans lequel les engagements de dose à l'ensemble du corps dus aux diverses sources étaient exprimés par les durées d'exposition de la population mondiale au rayonnement naturel qui causeraient le même engagement de dose. Ce type de présentation a fait l'objet d'une très large attention parce qu'il permet de comparer les différentes sources sur une durée facilement concevable. C'est pourquoi le Comité a mis à jour quelques estimations

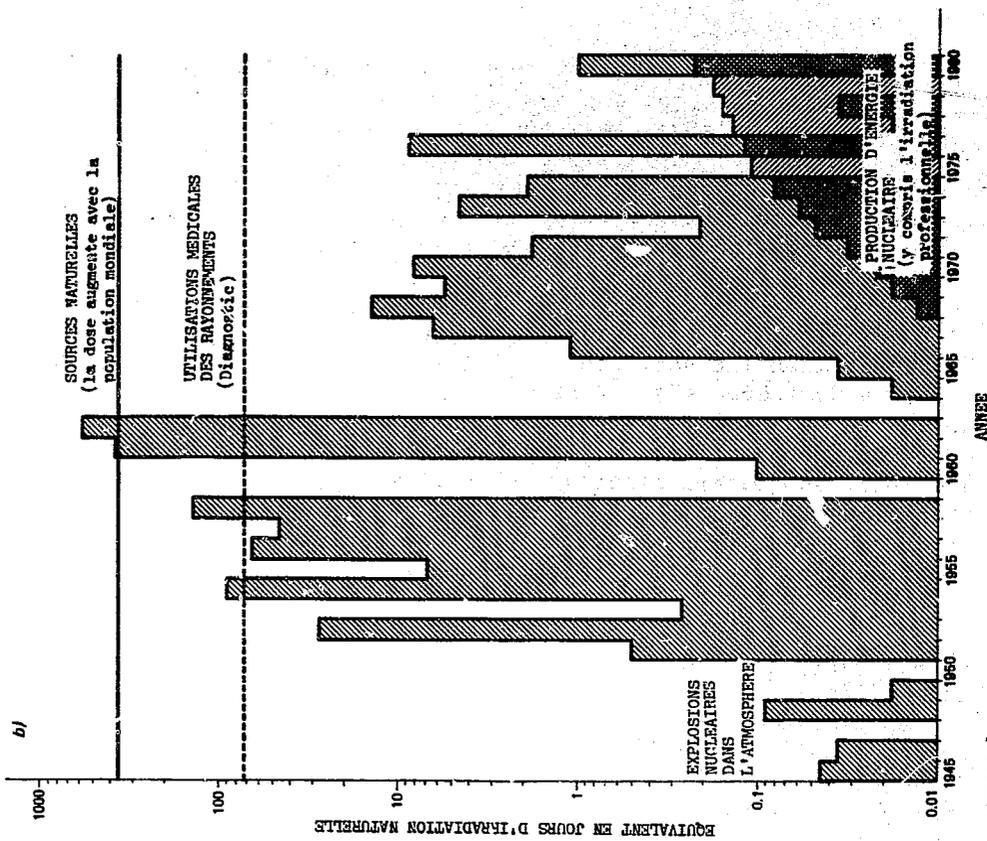
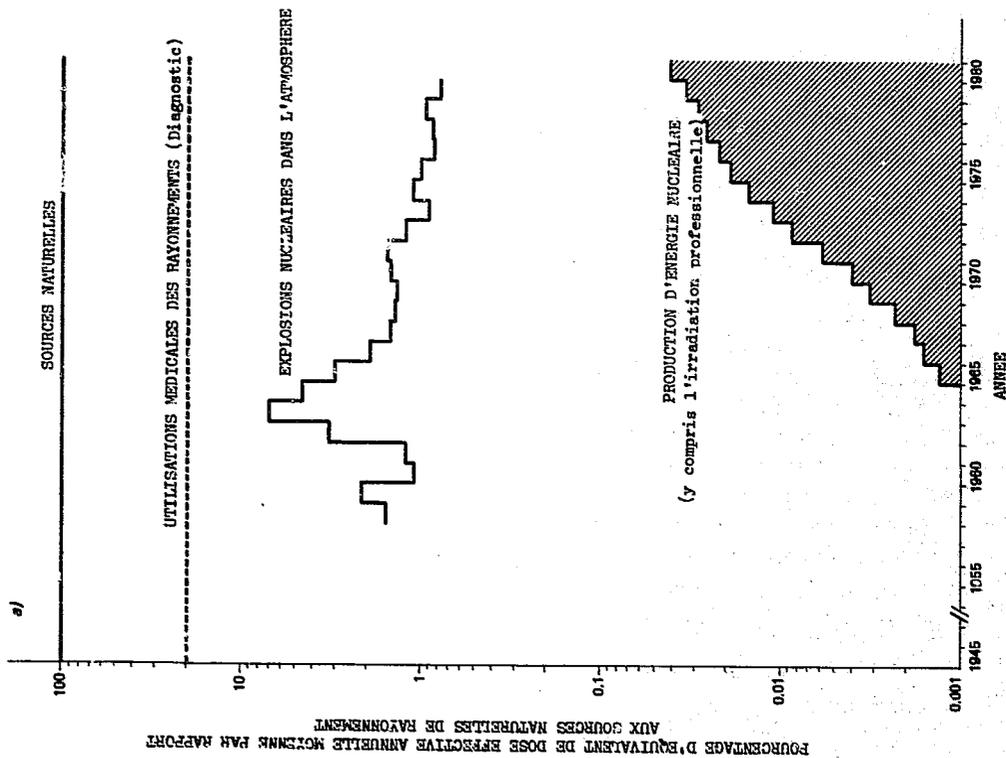


Figure II. Evolution des doses imputables à différentes sources de rayonnement.
 a) Equivalents de dose effective annuelle, exprimés en pourcentages de l'irradiation naturelle moyenne; b) Engagement d'équivalent de dose effectif collectif par année de pratique, exprimé en jours d'irradiation naturelle équivalente.

pertinentes, comparant les engagements globaux de l'équivalent de dose effectif collectif, exprimés en jours d'exposition aux sources naturelles. La figure II b) présente, sur une échelle semi-logarithmique, des estimations des doses effectives collectives engagées par l'utilisation des rayonnements pour l'établissement de diagnostics médicaux, par les explosions nucléaires expérimentales et par l'énergie nucléaire produite chaque année entre 1945 et 1980. Ces engagements de dose collectifs sont exprimés par le nombre de jours d'exposition au milieu naturel qui produirait la même dose. Le Comité considère que les doses d'irradiation naturelle et médicale sont restées constantes.

163. Les engagements de l'équivalent de dose effectif collectif par année d'essais atmosphériques ont atteint un maximum en 1962, correspondant à environ 1,6 an d'exposition naturelle; depuis cette date, les engagements annuels sont nettement inférieurs. Les engagements de l'équivalent de dose effectif collectif par année d'énergie nucléaire produite ont augmenté régulièrement jusqu'à nos jours.

164. Il convient d'insister sur deux considérations si l'on veut éviter d'éventuelles erreurs d'appréciation concernant le contenu de la figure II b). Premièrement, la présentation des irradiations produites par diverses sources sur un même graphique ne doit être considérée que comme une manière de représenter la part relative de ces sources dans l'engagement global de l'équivalent de dose effectif. Elle n'implique aucune prise de position de la part du Comité quant à la justification de l'emploi des diverses sources ou pratiques pour des raisons éthiques, sociales ou économiques. Deuxièmement, une telle présentation pourrait induire en erreur s'il n'était pas tenu compte des nombreux facteurs traités aux précédents paragraphes du présent rapport et dans toutes ses annexes scientifiques.

165. L'engagement de l'équivalent de dose effectif collectif résultant de toutes les explosions nucléaires ayant eu lieu jusqu'à la fin de 1980 correspond à peu près à quatre années d'exposition au rayonnement naturel [figure II b)]. Environ 10 p. 100 de l'engagement de l'équivalent de dose effectif collectif a déjà été reçu; la fraction restante, essentiellement imputable au carbone 14, sera reçue au cours des quelque 10 060 années à venir.

166. Si l'on fait une moyenne pour le monde entier, l'engagement de l'équivalent de dose effectif collectif (limité à 500 ans) imputable à l'énergie nucléaire produite en un an au niveau de 1980 de capacité installée de 140 GW(e), correspond approximativement à cinq heures d'exposition au rayonnement naturel [figure II b)]. Cette estimation tient compte à la fois des personnes travaillant sous irradiation et du public. Si la fraction de la dose globale devant être reçue à long terme par le public peut être considérée, à titre de première approximation, comme uniformément répartie pendant le temps où la dose est reçue, la fraction devant être reçue à court terme, en revanche, se répand irrégulièrement autour des installations nucléaires. Le Comité a analysé le degré de cette irrégularité, ce qui lui a permis d'indiquer les conditions nécessaires pour continuer à améliorer la situation actuelle par des mesures nationales ou internationales. En supposant qu'il n'y aura aucune modification de l'engagement de dose collective par unité caractéristique de la pratique, l'énergie produite en un an, à la capacité nucléaire installée prévue de 1 000 à 1 600 GW(e) pour l'an 2000, entraînerait un engagement global (limité à 500 ans) représentant à peu près deux jours d'irradiation naturelle, compte tenu de l'élément professionnel. Toutefois, cette hypothèse pourrait s'avérer fautive en raison de l'évolution des techniques et de l'adoption de mesures de réglementation.

167. On estime que l'engagement de l'équivalent de dose effectif collectif total dû à l'énergie électrique produite jusqu'à ce jour par la fission nucléaire correspond approximativement à un jour d'irradiation naturelle moyenne [figure II b)]. Cette valeur est limitée à 500 ans et tient compte à la fois des personnes travaillant sous irradiation et du public.

168. D'autres sources de rayonnement produisent des engagements de l'équivalent de dose effectif collectif très inférieurs et ne justifient pas de commentaires particuliers.

169. La situation que l'on vient de décrire nécessite de nouvelles études à intervalles appropriés, afin de suivre les tendances, de constater d'éventuelles déviations par rapport aux chiffres prévus, et de continuer à préciser les estimations. Pour l'heure, il semblerait particulièrement approprié d'établir des études détaillées sur certains aspects de la question, de préférence à des évaluations d'ensemble.

C. Les effets des rayonnements

1. Les effets génétiques des rayonnements 13/

170. DE NOUVELLES EXPERIENCES SUR LES EFFETS GENETIQUES DES RAYONNEMENTS ONT FOURNI DES INFORMATIONS SCIENTIFIQUES SUPPLEMENTAIRES POUR L'EVALUATION DES RISQUES DE MALADIES GENETIQUES RADIO-INDUITES CHEZ L'HOMME. ELLES ONT EGALEMENT RENFORCE LE COMITE DANS SA CONVICTION QUE, DANS L'ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES, LES HYPOTHESES GENERALES ET LES METHODES D'EVALUATION PRECEDEMMENT UTILISEES DEMEURENT VALIDES. ELLES N'ONT PAS ABOUTI A UNE REVISION MAJEURE DES EVALUATIONS ANTERIEURES.

171. On sait que des anomalies génétiques, en d'autres termes des malformations congénitales spontanées se produisent dans une forte proportion du nombre total de conceptions. Les modifications les plus radicales de la structure génétique sont incompatibles avec la vie et conduisent à l'avortement. On a calculé qu'environ la moitié des avortements spontanés qui ont fait l'objet d'un diagnostic clinique étaient liés à des anomalies du matériel génétique. Certaines mutations génétiques sont bien compatibles avec la vie, mais les individus touchés présentent, à un moment ou à un autre de leur vie post-natale, des anomalies allant de graves maladies invalidantes à des affectations relativement bénignes. Des études démographiques ont montré que 10 p. 100 environ de tous les enfants nés vivants sont porteurs d'une anomalie génétique ou partiellement génétique plus ou moins grave.

172. On sait également que de nombreux agents toxiques, et en particulier les rayonnements ionisants, peuvent augmenter l'incidence des états pathologiques congénitaux. Toute interaction entre les rayonnements et le matériel génétique des cellules germinales des testicules ou des ovaires peut entraîner une lésion de ce matériel. Si cette lésion est transmise aux descendants de l'individu irradié, il peut en résulter toute une série de troubles qui, de même que ceux qui se produisent spontanément, peuvent être une source de difficultés considérables pour l'individu touché, sa famille ou la société en général. Il est donc très important d'évaluer dans quelle mesure l'irradiation peut accroître le risque d'anomalie génétique spontanée.

173. On peut classer arbitrairement les effets des rayonnements sur le matériel génétique en deux catégories selon leur nature, les mutations géniques et les aberrations chromosomiques. Les mutations géniques sont des altérations transmissibles des unités élémentaires de l'hérédité, qui sont les gènes. En pratique, elles sont subdivisées en mutations dominantes - ce sont celles qui se manifestent chez un descendant immédiat de l'individu dans les cellules germinales duquel elles se sont produites ou ont été provoquées - et mutations récessives, qui peuvent ne pas se manifester chez les descendants immédiats et ne sont exprimées que si un individu reçoit le même gène mutant de ses deux parents. Chez l'homme comme chez toutes les espèces exogames, la probabilité d'une mutation récessive est faible, sauf dans le cas de parents consanguins. Aussi, les mutations récessives seront-elles transmises à l'état latent de génération en génération et persisteront-elles dans la population jusqu'à ce que, par hasard, deux individus porteurs du même gène mutant produise des descendants et des mutations récessives qui s'étaient produites (ou avaient été provoquées) plus tôt deviendront alors apparentes. La plupart des mutations géniques ne relèvent pas exactement de l'une ou de l'autre des deux catégories susmentionnées; en fait, dans les cas où on a pu étudier les effets en détail, on a découvert tous les degrés, depuis les mutations complètement dominantes jusqu'aux mutations complètement récessives.

174. On peut diviser les aberrations chromosomiques en aberrations numériques (modification du nombre normal de chromosomes) et aberrations structurales (modification dans la structure des chromosomes). Les aberrations numériques qui signifient le gain ou la perte de chromosomes entiers, ont des conséquences graves sur le plan clinique, comme le syndrome de Turner, dans lequel la femelle n'a qu'un chromosome X au lieu de deux, ou le syndrome de Down ou trisomie 21, dans lequel l'individu est porteur d'un chromosome 21 supplémentaire. Lorsque des chromosomes sont l'objet de cassures et de recollements pour former de nouvelles situations qui peuvent entraîner le gain ou la perte de segments de chromosomes (délétions ou duplications), les individus touchés peuvent également présenter des anomalies.

175. Le Comité a passé en revue toutes les données qui ont été publiées depuis son rapport de 1977 et il les a classées en quatre catégories :

- a) Données apportant de nouvelles preuves à l'appui des conclusions antérieures;
- b) Données qui élargissent la base de données sur laquelle certaines hypothèses concernant l'évaluation des risques ont été formulées dans le passé;
- c) Données qui peuvent être utiles pour certaines conclusions qualitatives, mais pas pour des évaluations quantitatives;
- d) Données qui pourraient permettre d'améliorer l'évaluation des risques génétiques découlant de l'exposition à des rayonnement ionisants.

176. Les premières proviennent d'études sur des animaux de laboratoire. Elles nous ont permis d'étendre nos connaissances à des doses et des conditions d'irradiation plus variées (irradiation interne et externe, différentes intensités de rayonnement), à plusieurs espèces de mammifères et à de nombreux stades de maturation des cellules germinales et points de l'évolution génétique. D'une façon générale, ces nouveaux résultats nous ont permis de mieux comprendre la relation dose-effet qui intervient dans les cellules germinales des animaux mâles et femelles et qui doit servir de base à nos évaluations de la radio-induction

d'anomalies génétiques. Ces nouvelles données ont également accru notre confiance dans les déductions qu'il faut faire pour évaluer les effets génétiques chez l'homme à partir de données concernant les animaux.

177. Chez l'homme, les nouvelles données ont confirmé nos estimations de l'incidence spontanée de diverses anomalies génétiques; toutefois, les données sur les mutations radio-induites observées chez les descendants de parents irradiés demeurent limitées. Les progrès techniques pourraient permettre d'évaluer directement certains types de lésions du matériel génétique des individus irradiés. Les recherches sur l'origine génétique probable de certains vices de conformation se sont poursuivies intensivement; on a montré que plusieurs maladies génétiques chez l'homme sont associées à une radio sensibilité accrue et à une prédisposition héréditaire à la néoplasie.

178. On dispose à présent de nouvelles données relatives à certaines hypothèses utilisées dans l'évaluation des risques. Par exemple, les résultats de nouvelles expériences effectuées sur des bactéries et sur la drosophile concordent avec l'une des hypothèses de base utilisées dans la méthode indirecte d'évaluation des risques, à savoir l'existence d'un rapport de proportionnalité, pour les différents gènes, entre la fréquence des mutations spontanées et celle des mutations provoquées. Les nouvelles données ont également confirmé que, dans les conditions d'irradiation applicables à l'homme, les cellules germinales femelles présentent un terrain moins favorable aux mutations génétiques que les cellules germinales mâles.

179. On a également signalé des progrès qui pourraient modifier du moins d'un point de vue qualitatif, l'évaluation des risques génétiques chez l'homme. Il s'agit de la découverte d'une plus grande incidence des aberrations chromosomiques dans les cellules somatiques chez :

a) Les groupes de population vivant dans un milieu caractérisé par un rayonnement ionisant naturel élevé;

b) Les groupes exposés à une irradiation professionnelle;

c) Les survivants des bombes atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki. D'autres données portent sur l'éventuelle importance clinique d'anomalies chromosomiques spontanées (comme les translocations équilibrées), qui n'avaient guère retenu l'attention jusqu'ici. Enfin des études cytogénétiques approfondies sur les primates montrent qu'il serait possible d'utiliser les similarités dans l'évolution pour extrapoler la nature et les effets de certains remaniements chromosomiques pouvant être provoqués par des rayonnements ou d'autres agents toxiques dans l'environnement. Il demeure difficile au stade actuel, d'apporter des réponses quantitatives sûres au problème de la contribution des mutations récessives, tant spontanées que provoquées, au fardeau génétique.

180. Les évaluations des risques génétiques sont exprimées en nombre d'anomalies génétiques graves par unité de dose à la population, ce qui ne rend pas suffisamment compte des effets de la maladie ou des difficultés qui en résultent pour l'individu touché, sa famille, les services de soins et la société en général. On se propose dans le présent rapport d'établir un indice préliminaire des dommages résultant de maladies génétiques spontanées ou radio-induites. A cette fin, le Comité a utilisé certains critères mesurables tels que la durée de la vie perdue ou affectée. Tout en reconnaissant que ces critères sont encore insuffisants, le Comité estime que c'est un des moyens possibles de préciser les risques en termes significatifs du point de vue social.

181. L'examen auquel s'est livré le Comité avait pour objectif essentiel d'évaluer les risques génétiques éventuels des rayonnements pour l'homme. Toutefois, les données dont on dispose concernant directement l'homme sont encore très limitées, en particulier pour les doses et intensités de rayonnement faibles d'où la nécessité de continuer à fonder les évaluations sur les données concernant la souris et, dans une certaine mesure, les primates autres que l'homme. Lorsque l'on utilise ainsi des données expérimentales pour évaluer les effets attendus chez l'homme, il faut s'appuyer sur plusieurs hypothèses, les principales étant les suivantes :

a) Jusqu'à preuve du contraire, dans des conditions déterminées, un type donné de rayonnement cause la même quantité de lésions génétiques aux cellules germinales chez l'espèce utilisée dans l'expérience et chez l'homme;

b) Les facteurs physiques et biologiques influent sur l'étendue des lésions de la même manière et dans les mêmes proportions chez les deux espèces. Le Comité souligne à nouveau les incertitudes et les limitations qui s'attachent à la méthode d'extrapolation et à ses présupposés.

182. Comme dans les études précédentes, on a utilisé deux méthodes pour évaluer les risques génétiques. La méthode directe consiste à évaluer la quantité de lésions génétiques chez l'espèce utilisée dans l'expérience, d'un type (ou de plusieurs types) donné. Cette évaluation, à laquelle on a appliqué les facteurs de correction appropriés, est ensuite exprimée en termes d'effets attendus chez les descendants des individus irradiés. La méthode indirecte, ou méthode de la dose doublante, consiste à déterminer d'abord la quantité de rayonnements qui causera autant de mutations qu'il s'en produit spontanément chez l'espèce utilisée dans l'expérience. La moyenne des évaluations concernant les différentes catégories de lésions constitue la "dose doublante" pour l'espèce en question. En partant de l'hypothèse que la dose doublante ainsi déterminée est applicable à l'homme et compte tenu de l'incidence actuelle des maladies génétiques chez l'homme, on calcule alors l'accroissement escompté de l'incidence de ces maladies par unité de dose de rayonnement.

183. Sur la base de la méthode directe, le Comité a calculé en 1977 que le risque de lésions dues à des mutations chez la première génération postérieure à l'irradiation des mâles (faible dose, faible intensité de rayonnement, faible TLE) serait de l'ordre de 2 000 cas de troubles génétiques graves par Gy par million de descendants. Le Comité avait fondé ce calcul sur des études concernant des mutations dominantes provoquant des anomalies du squelette chez les souris mâles. Il n'a obtenu depuis lors aucune donnée nouvelle relative à ces mutations qui l'amène à modifier ses calculs. Il vient de procéder à une nouvelle évaluation indépendante sur la base de l'induction de mutations dominantes causant la cataracte de l'oeil après l'irradiation de souris mâles. Le nouveau chiffre de 1 000 cas par million par Gy au père concorde raisonnablement avec celui de 2 000 cas par million par Gy pour les mutations provoquant des anomalies du squelette.

184. Cette concordance tend à prouver que l'ordre de grandeur indiqué est probablement correct. Il faut néanmoins souligner que ces évaluations, si bonnes soient-elles, reposent sur plusieurs hypothèses et qu'il faudra peut-être les revoir à la lumière de nouveaux progrès des connaissances scientifiques. Faute de données expérimentales appropriées, on ne peut évaluer les risques des descendants de femelles irradiées par la même méthode. Cependant, par déduction à partir

d'autres données, il semble que l'on puisse dire que les cellules germinales des femelles sont moins sensibles, probablement moins sensibles que celles des mâles à faible dose, à faible intensité de rayonnement et faible TLE.

185. Le Comité a également été en mesure de réévaluer les risques résultant de l'induction de translocations réciproques, en utilisant de nouvelles données tirées d'études portant sur le singe rhésus, ainsi que des données antérieures concernant le ouistiti et l'homme. On estime à l'heure actuelle que ce risque se situe entre 30 et 1 000 cas d'enfants présentant des malformations congénitales par million de conceptions par Gy au père (faible dose, faible intensité de rayonnement, faible TLE). Ils représenteraient des produits non équilibrés de translocations réciproques équilibrées radio-induites. Toutefois, faute de données suffisantes concernant les effets de ces translocations sur le porteur, il n'est pas possible d'évaluer de façon sûre le rôle des translocations réciproques équilibrées en tant que telles dans les cas pathologiques chez l'homme. Quant aux risques résultant de l'induction de translocations réciproques chez la femelle, on ne dispose pas de données nouvelles. Là encore, les déductions à partir des données disponibles confirment le Comité dans sa conviction, exprimée dans le rapport de 1977, que le risque est probablement peu élevé. C'est vrai également des aberrations chromosomiques structurelles autres que celles qui ont été expressément mentionnées ci-dessus.

186. Par la méthode indirecte ou méthode de la dose doublante, le Comité avait estimé en 1977 que, si une population est exposée en permanence à de faibles doses de rayonnements à faible TLE au taux de 0,01 Gy par génération (une génération = 30 années), on pourrait s'attendre à 63 nouveaux cas de maladies congénitales par million d'embryons à la première génération (20 cas de maladie résultant de l'induction de mutations dominantes et à des anomalies des chromosomes X, 38 cas de maladie d'origine chromosomique et 5 cas de maladie d'étiologie complexe). Une fois l'équilibre réalisé (après un nombre de générations différent selon la catégorie de maladie congénitale), le chiffre total serait de 185 cas par million d'embryons (100 cas de maladie résultant de l'induction de mutations dominantes et d'anomalies des chromosomes X, 40 cas de maladie d'origine chromosomique et 45 cas de maladies d'étiologie complexe).

187. Des analyses récentes ont permis d'affirmer quelque peu ces évaluations. Premièrement, il a été démontré que, s'agissant des maladies dues à des mutations dominantes et à des anomalies des chromosomes X, l'accroissement, à la première génération, est probablement de l'ordre de 15 p. 100 de l'accroissement au niveau d'équilibre (soit, pour une irradiation à faible TLE et à faible dose, à un débit de 0,01 Gy par génération, 15 cas par million de naissances, la fréquence au niveau d'équilibre étant la même que précédemment, soit 100 cas par million de naissances; ou, pour une irradiation d'un Gy par génération, 1 500 cas par million de naissances dans la première génération et 10 000 cas par million de naissances au niveau d'équilibre). Deuxièmement, la plupart des maladies de la catégorie des anomalies chromosomiques sont liées à des aberrations numériques. En 1977, l'accroissement (dû aux rayonnements dans les conditions précitées) pour cette catégorie de maladies avait été évalué en partant de l'hypothèse d'une dose doublante d'un Gy, comme pour les autres catégories de lésions génétiques. Cependant, d'après des données relatives aux animaux de laboratoire et à l'homme, il semble possible que la dose doublante d'un Gy soit inexacte pour les maladies chromosomiques dues à des aberrations numériques. Le Comité n'a donc utilisé la dose doublante susmentionnée que pour les maladies chromosomiques dues à des aberrations structurelles et est parvenu aux chiffres de 240 et 400 cas par million

d'embryons à la première génération et au niveau d'équilibre, respectivement, lorsque la population est exposée à un Gy par génération dans les conditions précitées. Les évaluations concernant les maladies d'étiologie complexe n'ont pas été modifiées (donc les chiffres de 450 et de 4 500 par million d'embryons à la première génération et au niveau d'équilibre, respectivement, demeurent valables pour une irradiation d'un Gy par génération dans les conditions précitées).

188. En résumé, sur la base de la méthode de la dose doublante, le Comité estime maintenant que, si une population est exposée à une irradiation à faible TLE, à des doses faibles et au taux d'un Gy par génération, l'augmentation prévue de l'incidence des maladies génétiques est d'environ 2 200 cas par million d'embryons à la première génération ($1\ 500 + 240 + 450 =$ environ 2 200) et à environ 15 000 cas par million d'embryons au niveau d'équilibre ($10\ 000 + 400 + 4\ 500 =$ environ 15 000).

2. Les effets non stochastiques de l'irradiation sur les tissus normaux 14/

189. LORSQUE L'IRRADIATION TUE UN NOMBRE SUFFISAMMENT IMPORTANT DE CELLULES, CELA CAUSE UN DOMMAGE ANATOMIQUE ET FONCTIONNEL AU TISSU. LES DOSES EN-DECA D'UN CERTAIN SEUIL, QUI VARIE SELON LES EFFETS ET LES TISSUS, PEUVENT PRODUIRE DES MODIFICATIONS DETECTABLES MAIS IL FAUT GENERALEMENT DES DOSES RELATIVEMENT PLUS ELEVEES POUR INDUIRE DES EFFETS PATHOLOGIQUES. POUR DES DOSES DEPASSANT LE SEUIL DELIVREES EN UNE SEULE FOIS A L'ORGANISME TOUT ENTIER, LA MOELLE OSSEUSE EST LE TISSU LE PLUS CRITIQUE POUR LA SURVIE DE L'INDIVIDU. CEPENDANT, LA CAPACITE REMARQUABLE DE RECONSTITUTION DE LA MOELLE LUI PERMET DE SUPPORTER DES DOSES BEAUCOUP PLUS IMPORTANTES SI CELLES-CI SONT ADMINISTREES SUR UNE LONGUE PERIODE DE TEMPS. EN CAS D'IRRADIATION PROLONGEE OU DISCONTINUE, LA PERTE DE FONCTION D'AUTRES TISSUS (PAR EXEMPLE LES TESTICULES OU LE CRISTALLIN) PEUT APPARAITRE A UN NIVEAU DE DOSE PLUS FAIBLE. DANS LE PRESENT RAPPORT, LE COMITE EXAMINE, POUR TOUS LES TISSUS IMPORTANTS, LE RAPPORT DOSE-TEMPS DANS LE CADRE DUQUEL LES DIVERS EFFETS DEVIENNENT CRITIQUES. IL EXAMINE EGALEMENT L'IMPORTANCE RELATIVE D'AUTRES VARIABLES PHYSIQUES OU BIOLOGIQUES.

190. Le Comité n'a entrepris aucune étude systématique des modifications morphologiques et fonctionnelles de tissus normaux irradiés depuis 1962. Les objectifs de la présente étude sont tout d'abord d'identifier, pour chacun des tissus et pour les diverses modalités d'irradiation, les effets et les doses susceptibles de devenir critiques pour la fonction de ce tissu; et ensuite, d'analyser les principaux facteurs physiques et biologiques qui modifient ces doses et ces effets. Ces objectifs requièrent une étude complexe du rapport dose-temps dans chaque tissu, fondée à la fois sur les données obtenues sur les animaux et sur les effets cliniques chez l'être humain.

191. L'étude a été limitée aux effets non stochastiques. Ces effets surviennent lorsqu'une grande proportion des cellules d'un tissu sont inactivées par irradiation, ce qui cause un dommage anatomique ou fonctionnel au tissu. En général, pour produire des effets non stochastiques, il faut qu'une dose minimale, appelée la dose de seuil, soit délivrée avant d'être détectée. La gravité clinique de la lésion augmente proportionnellement à la dose. Le délai précédant l'apparition d'une lésion du tissu est très variable, allant de quelques heures ou de quelques jours à plusieurs années après l'irradiation, selon le type d'effet et les caractéristiques du tissu.

192. Le concept de seuil (dose minimale) est difficile à définir et doit être examiné selon chaque tissu et chaque effet car il dépend dans une grande mesure de la sensibilité de la détection. Il faut également distinguer entre le seuil de détection d'un effet donné, aussi faible et trivial soit-il, et le seuil d'apparition de modifications cliniques ayant de nettes connotations pathologiques. Tout en reconnaissant que ces principes ont d'importantes applications pratiques, le Comité a estimé qu'une discussion détaillée de la pathologie des tissus dépassait les limites de la présente étude qui visait essentiellement à évaluer les effets tels qu'ils sont signalés plutôt qu'à en évaluer l'importance à des fins pratiques.

193. On dispose à ce sujet d'un volume considérable d'informations et il faut donc la présenter de façon interprétative plutôt que de façon généralisée. La tâche est facilitée par les gros progrès réalisés dans la connaissance des mécanismes fondamentaux des réactions des cellules et des tissus à l'irradiation. L'hypothèse

sur laquelle se fonde l'étude du Comité est que la réaction non stochastique à l'irradiation d'un tissu donné dépend essentiellement du nombre de cellules composantes triées et que la gravité et l'élément temporel de la lésion sont liés à la façon particulière dont chaque tissu est organisé et fonctionne. Par conséquent, il faut d'abord examiner certains concepts radiologiques de base pour donner une idée générale des effets des rayonnements sur les cellules et les tissus, le phénomène de reconstitution, la structure fonctionnelle des tissus et les modifications induites dans les tissus par les rayonnements, tout cela devant former un cadre uniforme de référence pour l'analyse spécialisée et systématique des effets sur divers tissus.

194. Le Comité a examiné les données humaines séparément d'autres données animales, mais aux fins du présent rapport, les similarités entre les effets observés justifient que l'on traite les deux en même temps, avec les nuances nécessaires pour souligner les divergences. Les doses mentionnées dans la présente sous-section sont les doses absorbées [exprimées en gray (Gy)] à partir de rayons X ou gamma administrés en radiothérapie de la façon classique, en plusieurs fois, à moins qu'il n'en soit indiqué autrement.

195. Pour la peau, les réactions à l'irradiation vont du rougissement temporaire et de la chute des cheveux à l'atrophie, l'épilation permanente, la modification de la couleur, les modifications atoniques des vaisseaux sanguins, l'ulcération et la nécrose. Afin de produire des changements observables sur la peau d'animaux par irradiation externe (rayons X ou gamma), il faut normalement administrer des doses très élevées de l'ordre de 7 à 10 Gy. Néanmoins, comme ce tissu a une capacité remarquable de régénération, il lui est possible de tolérer une dose cinq fois supérieure si l'irradiation se fait sur des semaines ou des mois. L'observation de patients suivant un traitement de radiothérapie confirme dans l'ensemble ces conclusions. Avec des traitements administrés en une seule fois, on observe une chute temporaire des cheveux après trois à cinq Gy et l'apparition de légères lésions réversibles de la peau, normalement après un ou deux Gy. Néanmoins, la peau humaine peut recevoir jusqu'à 50 à 60 Gy sur une période de six semaines sans que se produisent de conséquences graves. La largeur et la profondeur du morceau de peau irradiée sont importantes, des changements plus graves se produisant après des irradiations de superficies plus grandes et de couches plus profondes. On sait également que d'autres variables biologiques influent sur le niveau de la dose minimale, notamment l'emplacement atonique du morceau de peau irradiée, l'âge de la personne et la couleur normale de sa peau. Les muqueuses accusent des modifications analogues à celles que l'on voit sur la peau à des doses similaires.

196. Chez les animaux de laboratoire, les tissus sanguiformateurs sont particulièrement sensibles. Les lymphocytes et les cellules-souches sont souvent inactivées par des doses d'une fraction de Gy administrées en une seule fois. Ces tissus ont néanmoins une capacité remarquable de régénération. Chez l'homme aussi, le système hématopoïétique contient les tissus les plus sensibles. On peut observer des réactions après 0,5 à 1 Gy qu'il s'agisse d'une irradiation unique ou d'une série d'irradiations. Pour ce tissu, comme pour beaucoup d'autres, le volume irradié est très important pour déterminer le niveau de la réaction. Si la dépression des cellules sanguines périphériques est trop grave, il peut y avoir infection ou hémorragie. Ce sont là les principaux symptômes de ce que l'on appelle le syndrome hématopoïétique, qui peut être mortel.

197. L'irradiation externe du système gastro-intestinal produit une variété de symptômes et de lésions allant de la dyspepsie et de la diarrhée avec perte de liquide et de sang à des ulcères localisés et, par la suite, un rétrécissement et l'occlusion des intestins. Les diverses sections du système gastro-intestinal doivent être traitées séparément car leur sensibilité n'est pas la même. Si l'on considère la première forme de lésions radio-induites, l'estomac humain peut tolérer jusqu'à 40 Gy lors d'un traitement discontinu sur une longue période. L'intestin grêle peut également supporter des doses de l'ordre de 30 à 40 Gy sur plusieurs semaines. Le grand intestin est plus résistant encore et n'accuse que des symptômes passagers à des doses similaires alors que l'oesophage semble tolérer jusqu'à 60 Gy d'irradiation discontinue. Les conséquences tardives de ces doses élevées (surtout si elles sont administrées sur un grand volume de tissu) sont peu connues et difficiles à quantifier. Le foie est un organe relativement radio-résistant. Chez les animaux, si on les administre en une seule fois, il faut des doses de plus de 10 Gy pour induire des changements permanents dans le foie et ces doses peuvent être multipliées jusqu'à six fois si l'irradiation est discontinue et étalée sur une longue période. Chez l'homme, on sait que le foie tolère 40 à 50 Gy en 30 jours administrés à différentes parties de l'organe, le seuil des effets mesurables étant d'environ 30 Gy pour une radiothérapie classique administrée en plusieurs fois.

198. Des doses d'irradiation modérées aux poumons peuvent provoquer une pneumonie bénigne qui, à la suite d'une chaîne complexe de réactions pathologiques, entraîne une fibrose et la perte de fonction. La sensibilité des poumons à de longues périodes d'irradiation est modérée. Des doses de plus de 20 Gy administrées en quelques semaines peuvent faire monter appréciablement l'incidence de complications. Parmi les autres organes thoraciques, on considère que le coeur est assez radio-résistant chez les animaux de laboratoire, où il n'accuse que des modifications microscopiques dans les cellules musculaires et les vaisseaux sanguins après des doses modérées. Chez l'homme, on observe une incidence élevée de complications cardiaques, essentiellement de péricardite et en fin de compte de fibrose, après des irradiations discontinues de doses totales supérieures à 60 Gy.

199. Les diverses structures du système urinaire présentent une sensibilité très variée : on pense que l'organe le plus vulnérable est le rein, suivi de la vessie et des urètres. Une néphrite aiguë et chronique suivie d'hypertension et de protéinurie sont généralement le résultat de doses d'irradiation élevées au rein. Chez les animaux de laboratoire, on a signalé des modifications après des irradiations aiguës avec des doses minimales de 5 à 12 Gy. Avec un traitement discontinu classique, on peut augmenter ces doses au moins trois fois. Chez l'homme, une dose de 20 à 24 Gy en trois ou quatre semaines amène des altérations des fonctions rénales et de ce fait, on considère normalement que le seuil de tolérance en radiothérapie est d'environ 23 Gy en cinq semaines. Tant chez les humains que chez les animaux de laboratoire, le rein semble le plus sensible au moment de la naissance. Le seuil de tolérance de la vessie serait de 55 à 60 Gy délivrés sur trois ou quatre semaines.

200. Les testicules et les ovaires sont particulièrement sensibles. L'irradiation des testicules peut causer la stérilité, temporaire ou permanente selon la dose. Les testicules semblent être un organe ayant des réactions exceptionnelles en ce sens que l'irradiation en plusieurs fois cause davantage de lésions non stochastiques que les traitements administrés en une seule fois. Chez l'homme, des doses uniques très faibles (0,1 Gy) auraient causé une stérilité temporaire mais il faut des doses dépassant 2 Gy pour produire une aspermie permanente. Il faut

parfois plusieurs années pour retrouver entièrement ses fonctions après des doses extrêmement dommageables. L'ovaire adulte est plus résistant que les testicules car, au moment de la naissance, les cellules des oogones sont toutes développées et forment des oocytes, qui sont plus résistants. Néanmoins, si l'irradiation est délivrée sur un ovaire en développement, des traitements discontinus allant jusqu'à 2 Gy peuvent causer des lésions graves chez les chiennes et les guenons. Des doses dépassant 3 Gy ou des doses fragmentées plus élevées causent une stérilité permanente chez la femme.

201. Les doses minimales pour le système nerveux central diffèrent selon les structures. Les dommages apparaissent généralement sous forme d'altération de la structure névralgique, de perte de myéline, d'encéphalite et de nécrose. On pense que la lésion la plus grave est la conséquence, tout du moins en partie, de dommages primaires aux vaisseaux sanguins; cette lésion est irréversible. Le système nerveux central a une capacité limitée de régénération. Les données obtenues sur des animaux montrent que les dommages structurels aux cellules névralgiques peuvent apparaître après des doses de 1 à 6 Gy qui risquent d'amener une dégénération cellulaire quelques mois après le traitement. Des doses plus élevées auront des effets plus tôt. Chez l'homme, la dose tolérable en radiothérapie pour l'ensemble du cerveau est d'environ 55 Gy délivrés sur cinq à six semaines, mais on observe des modifications morphologiques après 10 Gy en traitement discontinu. Les doses minimales pour la moëlle épinière sont plus faibles, environ 31 Gy en quatre semaines. Les effets d'un traitement discontinu sont particulièrement importants pour le cerveau et la moëlle épinière.

202. L'irradiation du cartilage en période de croissance amène des troubles dans le processus de formation osseuse et les déformités qui en résultent. Le cartilage en croissance est très sensible et la dose de seuil qui cause du rachitisme est probablement très faible et peut-être même nulle. Chez le jeune animal, on a signalé 3 p. 100 de rachitisme par Gy. Chez les enfants humains, des doses totales de 10 Gy ou plus administrées en fractions quotidiennes sur quelques semaines suffisent à causer un certain degré de ralentissement de la croissance. Plus l'enfant est jeune, plus le degré de rachitisme est élevé. Par contre, le cartilage adulte peut tolérer des doses beaucoup plus élevées. En général, on considère que l'ossature des adultes est relativement résistante et que normalement des doses totales de 65 Gy administrées sur six à huit semaines ne causent pas de nécrose; il peut néanmoins y avoir prédisposition aux fractures selon la pression mécanique normalement exercée sur l'os.

203. Des nombreux tissus dans la région de l'oeil (glandes lacrymales, conjonctive, cornée, sclérotique, rétine), le cristallin est le tissu le plus sensible aux rayonnements, ceux-ci provoquent l'opacification ou une cataracte clinique. On observe les effets initiaux chez l'homme après 2 Gy d'irradiation intense. Chez certains animaux, comme la souris, il faut généralement des doses un peu plus faibles pour causer une cataracte précoce. Pour le cristallin, l'augmentation de la dose minimale qui accompagne une fragmentation croissante peut être plus faible que pour beaucoup d'autres tissus. En ce qui concerne le système endocrinien chez l'adulte, on considère que l'hypophyse est radiorésistante. La thyroïde est un tissu qui prolifère lentement et dans lequel les effets de l'irradiation peuvent apparaître seulement après plusieurs années. Il faut des doses de l'ordre de 10 Gy en un seul traitement pour causer des lésions morphologiques aux cellules de la thyroïde et un dysfonctionnement manifeste.

204. La séquence chronologique entre la transformation des vaisseaux sanguins et celle des tissus parenchymateurs laisse à penser qu'un dommage vasculaire peut jouer un rôle important dans les transformations pathologiques (perte de cellules, fibrose) après des doses d'irradiation élevée, mais il est difficile d'évaluer séparément la réaction des éléments vasculaires et des éléments parenchymateurs. On sait que des lésions morphologiques surviennent dans les vaisseaux sanguins d'organes irradiés et que longtemps après l'irradiation ces changements peuvent provoquer des troubles de la fonction vasculaire. Les doses minimales pour des changements relativement subtils tendent à être plus faibles pour des lésions fonctionnelles plus marquées. Les vaisseaux sanguins situés dans différents tissus peuvent avoir des différents seuils de réaction.

205. Le Comité a examiné systématiquement les effets produits par les neutrons rapides dont on sait qu'ils provoquent, à doses égales, des effets biologiques plus marqués que les rayons X ou gamma. Pour des doses intenses causant des lésions détectables, l'efficacité des neutrons est normalement de un à cinq fois celle des rayons X ou gamma. Les neutrons sont encore plus efficaces au cours d'un traitement fractionné à mesure que la dose par fraction décroît.

206. Les effets non stochastiques produits par des radionucléides émettant des rayons bêta ou gamma administrés par voie interne sont généralement les mêmes selon le type et le degré que les effets causés par des doses moyennes comparables d'irradiation externe des tissus administrées à un faible débit de dose. Les tissus qui seront affectés par un traitement avec un nucléide donné dépendent de la répartition particulière de ce nucléide dans le corps; la gravité de la lésion dépend des caractéristiques de rayonnement et de la répartition temporelle de l'énergie délivrée. On n'a pas encore fini d'étudier les modèles pour établir le rapport entre la répartition temporelle des doses absorbées d'un radionucléide et celle de l'irradiation fractionnée externe sur la base d'effets égaux. On ne sait pas encore non plus exactement quelle est la microdistribution de l'énergie des radionucléides dans les cibles cellulaires et il est de ce fait difficile d'assigner des valeurs précises d'efficacité biologique relative à des rayons non pénétrants comme les particules alpha et les électrons Auger à basse énergie émis par les radionucléides.

3. Réduction de la durée de la vie due aux rayonnements 15/

207. BIEN QUE LA REDUCTION DE LA DUREE DE LA VIE SOIT UNE CONSEQUENCE REELLE DE L'IRRADIATION, LES EXPERIENCES REALISEES SUR LES ANIMAUX ONT PERMIS DE REUNIR UN GRAND NOMBRE D'ELEMENTS INDIQUANT QU'AUX INTENSITES DE RAYONNEMENTS FAIBLE ET MOYENNE, CE PHENOMENE EST ESSENTIELLEMENT DU AUX EFFETS DE MALADIES NEOPLASTIQUES. LES DONNEES EPIDEMIOLOGIQUES CONCERNANT LES SURVIVANTS D'HIROSHIMA ET DE NAGASAKI LAISSENT A PENSER QU'IL EN VA DE MEME CHEZ L'HOMME.

208. Depuis ses rapports de 1958 et 1962, le Comité n'avait pas procédé à un examen systématique des données relatives au phénomène spécifique de la réduction de la durée de vie qui a souvent été défini comme une conséquence de l'irradiation venant s'ajouter aux effets spécifiques (essentiellement carcinogènes) des rayonnements. En examinant cette question, le Comité voulait principalement étudier l'existence de ce phénomène et ses liens avec le vieillissement naturel ou, peut-être, radio-induit et définir la gamme des doses, les débits de dose et les conditions d'irradiation dans lesquelles il se produit, et déterminer l'influence de diverses variables biologiques (constitution génétique, âge, sexe, etc.).

209. On a noté à diverses reprises que des animaux ayant survécu aux effets à court terme de l'irradiation présentaient les symptômes caractéristiques de la sénescence (blanchissement du poil, apparition de la cataracte, perte de la capacité de reproduction). Ces animaux avaient tendance à mourir plus tôt que ceux qui n'avaient pas été irradiés et semblaient souffrir plus tôt que les autres des maladies caractéristiques des animaux âgés. Sans faire appel à une connaissance approfondie de la biologie de la sénescence ou des changements radio-induits, on a déduit de l'ensemble de ces observations que l'irradiation pouvait provoquer un vieillissement accéléré en plus d'une réduction de la durée de la vie. De nombreuses recherches ont eu pour but de confirmer cette hypothèse.

210. Le Comité a brièvement passé en revue les théories du vieillissement physiologique et les mécanismes qui pourraient être à l'origine de la sénescence. Il apparaît que les phénomènes biologiques proprement dits ne soient pas encore suffisamment bien connus pour qu'une étude plus approfondie de l'influence des rayonnements sur ces phénomènes soit justifiée. Il semble en revanche qu'il serait utile d'étudier les aspects actuariels de la sénescence, c'est-à-dire la réduction de la durée de la vie proprement dite, sous l'angle de l'irradiation. A cet égard, on peut aussi se demander si la réduction de la durée de la vie due aux rayonnements s'explique par des défaillances ou des maladies spécifiques ou si elle a - et dans quelle mesure - des causes diffuses, aspécifiques.

211. Il est habituellement assez aisé d'établir avec précision le moment du décès et d'analyser les données ainsi obtenues (durée moyenne et médiane de survie, taux de mortalité par âge, etc.). Ces données ne sont cependant que le résultat d'une multiplicité de phénomènes. On ne peut apporter de solution satisfaisante aux problèmes décrits au paragraphe précédent que si on détermine les causes du décès par des études anatomopathologiques soigneuses, ce qui est en soi une entreprise compliquée, notamment s'il s'agit de personnes âgées, qui souffrent de maladies multiples dont les effets se combinent. Cette information est pourtant cruciale si l'on veut déterminer si l'irradiation a un effet spécifique. Le Comité considère qu'en principe, si on ne peut pas montrer que les rayonnements avancent l'âge du décès sans modifier le spectre et la fréquence relative des maladies affectant normalement une population non irradiée, la théorie d'une réduction spécifique de la durée de la vie est insoutenable. Le Comité note qu'en fait il n'y a jamais eu

d'expérience convaincante démontrant une réduction aspécifique de la durée de la vie alors qu'il existe des analyses statistiques précises exposant les effets des maladies liées à l'âge et des autres maladies.

212. Par contre, la vaste majorité des données sur les animaux de laboratoire à des doses et intensités de rayonnements auxquelles il est impossible de déceler les lésions radio-induites à court terme, ne confirment pas la théorie selon laquelle les rayonnements peuvent causer un vieillissement prématuré ou accélérer le vieillissement et que l'induction de cancers, qui peut alors être observable, n'est qu'un aspect d'un phénomène plus général d'accélération du vieillissement. Cela ne contredit pas d'autres observations selon lesquelles, à des doses et intensités de rayonnement suffisamment élevées pour entraîner la mort à court terme d'une fraction importante d'animaux irradiés, des lésions non spécifiques des vaisseaux sanguins et des tissus conjonctifs, ou les effets non stochastiques sur les autres tissus pourraient être des causes plus diffuses de décès non imputables au cancer. L'exposition à des doses aussi élevées ne serait intéressante que dans des circonstances exceptionnelles.

213. Le Comité a analysé des informations sur la réduction de la durée de la vie concernant un grand nombre d'espèces et de souches d'animaux de laboratoire exposés à des rayons X et gamma ou à des neutrons rapides en dose unique. On n'utilise pas souvent les doses uniques mais elles permettent d'établir une limite supérieure de l'effet. Bien que dans chaque série d'expériences, la réduction de la durée de la vie due à des rayonnements X ou gamma soit une fonction linéaire ou curvilinéaire différente de la dose, on a pu montrer que des fonction linéaires ou linéaires-quadratiques non liminales correspondaient assez bien à l'ensemble des données concernant un grand nombre de séries d'expériences effectuées sur les souris. Dans le cas des corrélations linéaires, l'effet moyen de réduction de la durée de la vie est d'environ 5 p. 100 pour une dose de 1 Gy, un peu plus ou un peu moins selon la souche et les caractéristiques biologiques de l'animal. Lorsque l'on expose des animaux de la même espèce à des doses uniques de neutrons rapides, le rapport entre la réduction de la durée de la vie et la dose peut s'exprimer par une courbe convexe et tournée vers le haut; là encore les résultats varient nettement en fonction de la souche.

214. Le cas le plus intéressant dans la pratique est celui des animaux exposés à un rayonnement faible pendant toute leur vie. Il convient évidemment d'utiliser des intensités de rayonnement équivalent à plusieurs fois à celle du rayonnement naturel si l'on veut observer des effets notables. En cas d'irradiation continue, l'efficacité des doses de rayons X ou gamma pourrait être jusqu'à la moitié seulement de celle des doses uniques. Pour les rayons X et gamma, l'irradiation à faible intensité de rayonnement pendant toute une vie permet de définir de manière approximative une limite inférieure d'efficacité dans les travaux expérimentaux. En cas d'irradiation continue, il est très difficile de dissocier les variables dose et temps et de les analyser séparément car la première augmente en fonction de la deuxième. Ainsi, selon la durée de la vie de l'animal, sa sensibilité à l'effet de réduction de la durée de la vie et la valeur réelle du débit d'exposition, on peut en fait obtenir pour une vaste gamme de doses différentes formes pour la relation dose-effet; toutefois, pour des doses et intensités de rayonnement faibles, ces relations sont normalement linéaires.

215. Le Comité a examiné toutes les données disponibles sur la façon dont un changement du débit d'exposition ou du mode de fractionnement des doses influe sur la réduction de la durée de la vie. Il a constaté que, pour une large gamme de ces

variables, il en résulte un changement d'efficacité modeste pour les rayons X ou gamma et douteux pour les neutrons. Des données ont aussi été obtenues en exposant les animaux à une irradiation prolongée interrompue un certain temps avant le mort, ce qui devrait permettre d'évaluer plus précisément la relation temps-dose. En fait, ces données sont très difficiles à interpréter, probablement parce que la sensibilité des animaux à l'effet de réduction de la durée de la vie change pendant l'irradiation à cause du phénomène de réparation résultant directement de l'irradiation. En général cependant, l'effet de réduction de la durée de la vie observé dans ce cas est intermédiaire entre l'effet d'une intensité de rayonnement très élevée et l'effet d'une intensité de rayonnement faible pendant très longtemps.

216. En cas d'irradiation interne par injection ou ingestion de radionucléides on est ramené au cas de l'irradiation sélective de tel ou tel organe ou tissu car les différents radionucléides se concentrent dans différentes parties du corps. Il a été démontré que, dans ces conditions, on peut expliquer la réduction de la durée de la vie observée par l'induction de cancers ou l'accélération de leur développement dans les parties du corps irradiées, sauf aux doses très élevées, les lésions non stochastiques apparaissant alors très rapidement.

217. Le Comité a également comparé l'efficacité de neutrons jusqu'à 14 MeV en matière de réduction de la durée de la vie avec celle des rayons X ou gamma. On a constaté, au cours de diverses séries d'expériences qu'à des doses relativement élevées, elle était trois à dix fois plus grande. L'efficacité biologique relative (EBR) est plus grande pour des doses et intensités de rayonnement plus faibles.

218. Le Comité a étudié les variables biologiques influant sur la réduction de la durée de la vie. Il a notamment considéré les caractéristiques génétiques des espèces et des souches, le sexe et l'âge des animaux ou des foetus. Il a également examiné comment l'effet de réduction de la durée de la vie était modifiée par divers traitements physiques, chimiques ou biologiques. Etant donné l'importance à cet égard, des caractéristiques pathologiques de l'espèce, le Comité estime qu'au stade actuel des connaissances, des extrapolations quantitatives à l'homme de données obtenues sur des animaux de laboratoire ne sont pas utilisables.

219. Des maladies radio-induites telles que la leucémie et le cancer de la peau ont été constatées chez les personnes exposées aux rayonnements du fait de leur profession, en particulier les radiologues, dans la période qui a suivi la découverte des rayons X et du radium. D'après certaines données - mais pas toutes - une réduction de la durée de la vie non imputable à ces maladies a également pu se produire chez les premiers radiologues, qui ont été exposés pendant de longues périodes à des doses de valeur inconnue mais probablement élevée de rayonnements. Toutefois ce phénomène aurait disparu chez les radiologues qui ont commencé leur activité professionnelle après l'introduction de méthodes de protection contre les rayonnements. Il s'ensuit que, pour les doses qui étaient "admissibles" à ce moment (c'est-à-dire jusqu'à dix fois plus élevées que les doses actuellement acceptées), il ne devrait pas y avoir de réduction de la durée de la vie et que, compte tenu de la taille des échantillons habituellement analysés, les moyens statistiques ne permettent pas de déceler chez l'homme une réduction de la durée de la vie due aux cas résiduels de leucémie et de cancer radio-induits.

220. Les données concernant des groupes de malades soumis à un traitement de radiothérapie ne font apparaître aucune réduction de la durée de la vie. Il convient de nuancer cette affirmation en raison de la nature des données utilisées et en particulier des deux considérations ci-après : tout d'abord, puisqu'une

partie seulement du corps des malades a été irradiée une réduction de la durée de la vie semble moins probable et, en second lieu, les groupes examinés sont habituellement plus petits que les groupes d'individus exposés à l'irradiation professionnelle et beaucoup plus petits que les groupes de survivants de la bombe atomique.

221. Une incidence de leucémies et de cancers supérieure à la moyenne naturelle a effectivement provoqué une réduction de la durée de la vie chez les survivants des bombes atomiques au Japon. L'ampleur de ce phénomène peut s'expliquer entièrement par ces maladies et il n'est pas nécessaire de postuler l'existence d'une cause aspécifique. Comme ces observations ont porté sur un échantillon très important et qu'elles ont été confirmées sur plus de trente ans, même si elles étaient limitées à la cohorte la plus âgée, cette conclusion semble assez sûre.

4. Les effets biologiques des rayonnements, agissant en conjonction avec d'autres agents 16/

222. LES EFFETS DES RAYONNEMENTS D'AUTRES AGENTS PHYSIQUES, CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES POURRAIENT REVETIR UNE GRANDE IMPORTANCE MAIS LES DONNEES DISPONIBLES SONT INSUFFISANTES ET CONTRADICTOIRES. EN CONSEQUENCE, IL S'AGIT D'UNE ETUDE ESSENTIELLEMENT THEORIQUE AVEC DES EXEMPLES TIRES DE RAPPORTS EXPERIMENTAUX ET EPIDEMIOLOGIQUES, ILLUSTRANT LA COMPLEXITE DE LA QUESTION. SAUF DANS LE CAS DE LA FUMEE DU TABAC, DONT L'EFFET PEUT SE COMBINER AUX RAYONNEMENTS POUR PROVOQUER DES CANCERS DU POU MON DANS CERTAINES CONDITIONS DE TRAVAIL, IL N'A PAS ETE POSSIBLE, DANS LA PRESENTE ETUDE, D'ETABLIR CHEZ L'HOMME UNE INTERACTION EVIDENTE QUI ENTRAINERAIT DES MODIFICATIONS SUBSTANTIELLES DES PREVISIONS DE RISQUES POUR D'IMPORTANTES GROUPES DE POPULATION. COMME ON NE DISPOSE PAS DE DONNEES SUFFISANTES CONCERNANT LES EFFETS COMBINES, LE COMITE S'EST LIMITE A INDIQUER LES PRINCIPALES ORIENTATIONS QU'IL POURRAIT ETRE UTILE DE SUIVRE DANS DES FUTURS TRAVAUX.

223. Les effets des rayonnements ionisants combinés avec d'autres agents physiques, chimiques ou biologiques pourraient revêtir une grande importance parce que les rayonnements existent partout dans la nature et que l'on peut concevoir, dans la vie moderne, bien des situations pouvant donner lieu à certaines formes d'interaction.

224. Malgré le nombre d'études affirmant ou démontrant l'existence d'une certaine interaction, le Comité estime, pour diverses raisons, que les résultats de ces travaux ne sont pas concluants. En premier lieu, un examen de l'ensemble de ces études, à la lumière des objectifs du Comité a montré que les niveaux d'exposition considérés étaient bien supérieurs à celui qui est dû à l'environnement naturel, le seul qui ait un intérêt pratique et que les travaux ont porté sur des expositions uniques et non sur des expositions prolongées. En deuxième lieu, aucun cas d'interaction n'a été traité de façon systématique pour ce qui est de la dose des différents agents et des mécanismes d'interaction. En troisième lieu, très souvent, les méthodes d'analyse appropriées qui pourtant existent depuis longtemps dans d'autres domaines des sciences biologiques, n'ont guère été utilisées. Enfin, faute de fondements théoriques concernant la nature éventuelle de cette interaction, il a été impossible de définir cette notion avec un tant soit peu de précision.

225. Dans ces conditions, le Comité a estimé que, plutôt que d'examiner systématiquement les résultats publiés, il vaudrait mieux essayer dans une étude théorique préliminaire de la question, de proposer des définitions, d'identifier

des méthodes d'analyse et d'illustrer la complexité des problèmes en jeu à l'aide d'exemples concrets. Le Comité a envisagé deux possibilités : ou bien les rayonnements ionisants et un autre agent produisent chacun un certain effet et l'additivité, la synergie et l'antagonisme seraient alors les trois formes possibles d'interaction; ou bien les rayonnements ionisants sont combinés avec un autre agent qui est inactif lorsqu'il est administré seul, auquel cas il y a protection ou sensibilisation (réduction au renforcement des effets des rayonnements). Cette classification n'a pas de valeur absolue car les doses des agents et la nature de l'effet produit peuvent modifier sensiblement la nature et le degré de l'interaction. Les substances qui contribuent au développement des cancers ont été étudiées à part.

226. Le Comité a d'abord examiné les notions d'exposition, de dose et d'effet dans le cas particulier des actions combinées. Il a ensuite passé en revue les méthodes d'analyse existantes qui lui permettraient d'évaluer, au moins qualitativement, les résultats des traitements combinés. La question a aussi fait l'objet d'un examen probabiliste plus approfondi qui a permis, dans certains cas, de décrire avec précision les facteurs de l'interaction. On s'est intéressé à la possibilité d'appliquer ces notions fondamentales mais assez abstraites, à des cas concrets d'effets biologiques complexes.

227. Pour trouver des réponses valables, il convient de définir et d'analyser avec soin les effets biologiques étudiés pour toutes les doses appliquées séparément ou combinées, des agents qui interviennent. Le schéma temporel de l'exposition (irradiations simultanées ou successives, doses uniques ou fractionnées) et l'ordre suivi dans l'administration des agents revêtent souvent une importance décisive pour ce qui est de la forme et de l'intensité des effets produits. Il est en outre indispensable de bien connaître les mécanismes qui entrent en jeu si l'on veut évaluer les circonstances et le niveau de l'interaction. Toutefois beaucoup des travaux qui ont été examinés ne remplissaient pas ces conditions fondamentales et ces questions n'étaient étudiées que de façon superficielle; en outre, la valeur statistique des résultats obtenus était souvent si faible que l'interaction ne pouvait être évaluée qu'à titre indicatif tout au plus.

228. Pour ce qui est de l'interaction des rayonnements et des autres agents physiques, les renseignements disponibles concernaient dans la plupart des cas l'interaction entre diverses formes de rayonnements ionisants ou entre les rayonnements ionisants d'une part et les rayons ultraviolets, les micro-ondes et la chaleur d'autre part. On a signalé une action synergique dans le cas de travailleurs de l'industrie radiotechnique exposés à la fois à des rayonnements ionisants et à des micro-ondes. Les effets étudiés étaient des troubles fonctionnels du système nerveux autonome et dans des sensations subjectives de malaise. Un examen critique des données a montré qu'étant donné la nature des symptômes et le fait qu'il était difficile de les quantifier, que les conditions d'irradiation n'étaient pas suffisamment contrôlées et que les statistiques étaient incomplètes, il y avait lieu de considérer ces travaux avec prudence. Les données sur l'action combinée des rayonnements et de facteurs tels que l'altitude, l'effort physique, les lésions mécaniques et les ultrasons étaient moins abondantes et les résultats paraissaient dans l'ensemble incertains.

229. On a examiné un grand nombre de catégories de composés chimiques pour déterminer s'il y avait interaction avec les rayonnements. Des composés inorganiques contenant du plomb, du cadmium, du chlore, du béryllium et du platine peuvent jouer un certain rôle dans des conditions de travail particulières et il

serait profitable d'élargir l'expérience acquise, qui est très limitée, si l'on veut parvenir à des conclusions plus nettes. Les données concernant divers types de poussière ont été jugées trop incertaines parce que les effets additifs, synergiques et inhibiteurs décrits correspondaient dans les circonstances les moins favorables, au quadruple de l'effet des seuls rayonnements. Les antibiotiques et les substances chimiothérapeutiques ainsi que d'autres agents pharmaceutiques semblaient plus importantes dans certaines situations cliniques que pour l'ensemble de la population.

230. Le Comité a étudié avec un soin particulier les possibilités d'action combinée des rayonnements et de composés dont on connaît les propriétés cancérigènes. Si les informations analysées portaient sur toute une gamme d'agents cancérigènes, pour chacune de ces substances les données étaient très incomplètes et souvent contradictoires. Une conclusion définitive ne pouvait être formulée sur aucune substance et sur aucune catégorie de tumeurs sans une analyse plus approfondie du dosage et des modalités de traitement. Il faudrait élargir l'expérience sur le benzoapyrène, la diéthylnitrosamine et divers types de poussières et de gaz provenant de la combustion du pétrole pour pouvoir formuler des conclusions plus nettes, car ces substances sont très largement répandues.

231. Il semble que, chez l'homme, la fumée du tabac accélère l'induction du cancer du poumon par les particules alpha émises par les produits de filiation du radon. On ne sait pas encore si cet effet est dû à la présence d'une substance activante dans la fumée de tabac ou s'il faut l'attribuer à d'autres actions aspécifiques sur les tissus respiratoires. Dans l'évaluation précise du facteur d'interaction, la durée de la période d'observation ainsi que la structure par âge et de l'exposition passée de la population exposée au risque peuvent jouer un rôle déterminant.

232. Chez les animaux, certaines hormones semblent avoir une influence sur le moment ou le rythme d'apparition de tumeurs radio-induites, notamment de la glande mammaire. Ce type de synergie se manifeste principalement par une accélération d'apparition de la tumeur. L'effet synergique varie toutefois considérablement selon les souches, au point que, pour le même traitement, il peut y avoir synergie chez certaines souches et antagonisme chez d'autres. L'effet varie également selon le type de tumeur. On ne dispose pas de renseignements directs pour l'homme. Les résultats étaient douteux ou négatifs lorsqu'on a fait intervenir d'autres agents biologiques - virus, bactéries ou changements de régime alimentaire - en conjonction avec des rayonnements.

5. Résumé et conclusions

233. Les études des effets biologiques des rayonnements ionisants qui ont été réalisées par le Comité n'ont pas modifié sensiblement les idées sur les évaluations des risques génétiques ou les effets somatiques analysés. Elles ont néanmoins mis en lumière certains faits nouveaux importants et permis de préciser les connaissances acquises antérieurement. Dans l'ensemble, ces nouvelles études ont confirmé le Comité dans sa conviction que l'on commence à bien comprendre les mécanismes de certains des effets de l'irradiation, notamment des effets non stochastiques.

234. En ce qui concerne les autres effets, tels ceux liés à la transformation néoplastique des cellules irradiées, leurs mécanismes sont aujourd'hui encore insuffisamment connus. Le Comité procédera à une analyse plus poussée des mécanismes d'induction du cancer lorsque le problème de la dosimétrie chez les

survivants d'Hiroshima et de Nagasaki aura été réglé. Il continuera à suivre et étudier toute la question de l'action cancérigène des rayonnements, y compris les bases théoriques et les estimations de risque effectif chez l'homme.

235. S'agissant des effets génétiques, le Comité constate de nouveaux progrès dans notre connaissance de la cinétique dose-réaction et d'autres aspects des principaux types de mutations génétiques qui peuvent être induites par irradiation chez les mammifères de laboratoire. L'utilisation systématique de données expérimentales pour l'évaluation des risques génétiques est toujours considérée comme essentielle, en l'absence de résultats positifs significatifs concernant les effets génétiques chez l'homme après irradiation. On a mis au point une nouvelle méthode pour évaluer, pour la première génération, les risques dus aux mutations nocives dominantes. Les résultats obtenus par cette méthode et les autres méthodes utilisées pour évaluer les risques génétiques chez les descendants des sujets exposés à des doses faibles sont presque identiques. Cependant, un certain nombre de problèmes importants subsistent. Par exemple, si on considère que les cellules germinales de la femme sont moins sensibles que celles de l'homme aux lésions génétiques dues à une irradiation faible, on ne sait pas encore jusqu'à quel point. Il faudra de nouvelles études pour déterminer dans quelle mesure les mutations récessives causent des lésions génétiques chez des générations ultérieures. Cependant, les progrès réalisés dans le domaine de la génétique humaine et les nouvelles méthodes utilisées pour comparer les taux de mutation dans les cellules humaines et les cellules animales devraient permettre de résoudre certains problèmes encore en suspens.

Notes

1/ Le Comité scientifique a été créé par l'Assemblée générale à sa dixième session. Son mandat 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. L'Assemblée générale ayant décidé, dans sa résolution 3154 C (XXVIII), d'en élargir la composition, il comprend maintenant également l'Allemagne, République fédérale d'Indonésie, le Pérou, la Pologne et le Soudan.

2/ Les précédents rapports détaillés du Comité à l'Assemblée générale ont été publiés comme : 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); ibid., vingt-quatrième session, Supplément No 13 (A/7613 et Corr. 1); ibid., vingt-deuxième session, Supplément No 25 (A/8715 et Corr. 1); ibid., trente-deuxième session, Supplément No 40 (A/32/40). Ces documents seront désignés ci-après comme les rapports de 1958, 1962, 1964, 1966, 1969, 1972 et 1977 respectivement. Le rapport de 1972 avec ses appendices et annexes scientifiques a également été publié sous le titre : Rayonnements ionisants : Niveaux et effets, vol. I : Niveaux (Publication des Nations Unies, numéro de vente F.72.IX.17) et vol. II : Effets (Publication des Nations Unies, numéro de vente F.72.IX.18). Le rapport de 1977, avec ses appendices et annexes scientifiques, a été publié sous le titre : Sources et effets des rayonnements ionisants (Publication des Nations Unies, numéro de vente F.77.XI.1).

3/ Publication des Nations Unies, numéro de vente F.82.IX.8.

4/ Cette question est étudiée en détail à l'annexe A, "Modèle d'évaluation de dose".

5/ Cette question est traitée en détail à l'annexe B, "L'exposition aux sources naturelles de rayonnements".

6/ Cette question est traitée en détail à l'annexe C, "L'exposition aux rayonnements naturels technologiquement modifiés".

7/ Cette question est étudiée en détail à l'annexe C, "L'exposition aux rayonnements naturels technologiquement modifiés".

8/ Cette question est étudiée en détail à l'annexe D, "L'irradiation due au radon, au thoron et à leurs produits de désintégration".

9/ Cette question est traitée en détail à l'annexe E, "L'irradiation due aux explosions nucléaires".

10/ Cette question est traitée en détail à l'annexe F, "L'irradiation due à la production d'énergie nucléaire".

Notes (suite)

11/ Cette question est traitée en détail dans l'annexe H, "L'irradiation professionnelle".

12/ Cette question est traitée en détail dans l'annexe G, "L'irradiation médicale".

13/ Cette question est examinée en détail à l'annexe I, "Les effets génétiques des rayonnements".

14/ Cette question est étudiée en détail à l'annexe J, "Les effets non stochastiques de l'irradiation".

15/ Cette question est examinée en détail à l'annexe K, "Réduction de la durée de la vie due aux rayonnements".

16/ Cette question est étudiée en détail à l'annexe L, "Effets biologiques des rayonnements agissant en conjonction avec d'autres agents physiques, chimiques et biologiques".

Appendice I

LISTE DES MEMBRES DES DELEGATIONS NATIONALES

On trouvera ci-après la liste des scientifiques spécialistes qui ont pris part à l'élaboration du présent rapport et participé aux séances du Comité en tant que membres des délégations nationales.

ALLEMAGNE, REPUBLIQUE FEDERALE D'

F. E. Stieve (Représentant), U. Ehling, W. Jacobi, A. Kaul, H. Kriegel, L. Rausch, C. Streffer

ARGENTINE

D. Beninson (Représentant), A. J. Gonzalez (Représentant)

AUSTRALIE

K. Lokan (Représentant), J. R. Moroney (Représentant)

BELGIQUE

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

BRESIL

E. Penna Franca (Représentant)

CANADA

G. Butler (Représentant), E. G. Letourneau (Représentant), A. M. Marko (Représentant), W. R. Busch, E. Muller, D. K. Myers, F. Prantl, H. Rothchild

EGYPTE

M. El-Kharadly (Représentant)

ETATS-UNIS D'AMERIQUE

R. D. Moseley (Représentant), W. K. Sinclair (Représentant), R. E. Anderson, R. Baker, A. M. Brues, C. Edington, J. H. Harley, F. A. Mettler, W. L. Russell, J. B. Storer, J. C. Villforth, H. O. Wyckoff

FRANCE

H. Jammet (Représentant), A. Bouville, R. Coulon, B. Dutrillaux, J. Lafuma, P. Pellerin

INDE

V. A. Shah (Représentant), S. D. Soman (Représentant), K. Sundaram (Représentant)

INDONESIE

A. Baiguni (Représentant), O. Iskandar

JAPON

T. Kumatori (Représentant), K. Misono (Représentant), R. Ichikawa, A. Kasai,
Y. Kishimoto, S. Kobayashi, S. Nakai

MEXIQUE

J. R. Ortiz-Magana (Représentant), J. R. Telich (Représentant)

PEROU

G. Guzman-Acevedo (Représentant), M. Zaharia (Représentant)

POLOGNE

Z. Jaworowski (Représentant)

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

E. Pochin (Représentant), C.O. Carter, K.E. Halnan, F. Morley, A.G. Searle

SOUDAN

A. Hidayatalla

SUEDE

B. Lindell (Représentant), K. Edvarson, K. G. Lüning, J. O. Snihs, G. Walinder

TCHECOSLOVAQUIE

M. Klimet (Représentant)

UNION DES REPUBLIQUES SOCIALISTES SOVIETIQUES

A. Guskowa (Représentant), A. M. Kuzin (Représentant), R. M. Alexakhin, A. Moiseev,
V. V. Redkin, V. A. Shevchenko, A. I. Vichrov

Appendice II

LISTE DES FONCTIONNAIRES ET DES CONSULTANTS SCIENTIFIQUES QUI ONT COLLABORE
AVEC LE COMITE DANS LA REDACTION DU PRESENT RAPPORT

D. Beninson
B. G. Bennett
A. Bouville
R. H. Clark
M. Coppola
M. F. Cottrall
S. B. Field
B. Lindell
J. Liniecki

V. Lyscov
R. B. Persson
K. Sankaranarayanan
G. Silini
J. O. Snihs
F. D. Sowby
F. Taylor
G. A. M. Webb

Appendice III

LISTE DES RAPPORTS RECUS PAR LE COMITE

1. On trouvera ci-après une liste des rapports que les gouvernements ont fait parvenir au Comité entre le 13 avril 1977 et le 26 mars 1982
2. Les listes des rapports reçus par le Comité avant le 12 avril 1977 figurent dans les précédents rapports du Comité à l'Assemblée générale.

Cote du document	Pays	Titre
A/AC.82/G/L.		
1561	Etats-Unis d'Amérique	Health and Safety Laboratory : Environmental Quarterly, HASL-318, 1 April 1977
1562	France	Surveillance de la radioactivité en 1976
1563	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Radioactive fallout in air and rain : results to the end of 1976
1564	Allemagne, République fédérale d'	Environmental radioactivity and radiation levels in the year 1975
1565	Etats-Unis d'Amérique	Health and Safety Laboratory : Environmental Quarterly, HASL-321, 1 July 1977
1566	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Radioactivity in human diet in the United Kingdom, 1976
1567	Japon	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 41, November 1976
1568	Japon	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 42, April 1977
1569	Etats-Unis d'Amérique	Health and Safety Laboratory : Environmental Quarterly, HASL-328, 1 October 1977

Cote du document	Pays	Titre
A/AC/82/G/L.		
1570	Etats-Unis d'Amérique	Health and Safety Laboratory : Final tabulation of monthly strontium-90 fallout data : 1954-1976. HASL-329, 1 October 1977
1571	Suisse	20th Report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1976
1572	Allemagne, République fédérale d'	The content of radioiodine in air, rain, grass, cowmilk and goatmilk following the Chinese nuclear test explosion on 26 September 1976
1573	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Environmental Quarterly, EML-334, 1 January 1978
1574	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Fallout in rainwater and airborne dust - levels in the UK during 1976
1575	Allemagne, République fédérale d'	Environmental radioactivity and radiation levels in the year 1976
1576	Japon	Radioactivity Survey Data in Japan, number 43, November 1977
1577	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Radioactive fallout in air and rain : results to the end of 1977
1578	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Environmental Quarterly, EML-339 1 April 1978
1579	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Environmental Quarterly, EML-342 1 July 1978
1580	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Radioactivity in human diet
1581	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Environmental Quarterly, EML-344, 1 October 1978

Cote du document	Pays	Titre
A/AC/82/G/L.		
1582	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Index to Environmental Quarterly, EML-345
1583	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Regional Baseline station, Chester, NJ; EML-347
1584	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Calculation of dose rate and air ionisation from radioactive fallout deposited at Chilton, 1951 à 1977
1585	Suisse	21st Report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1977
1586	Suisse	Radiation levels and dosimetry of the persons occupationally exposed in Switzerland in 1977
1587	Allemagne, République fédérale d'	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1975
1588	Allemagne, République fédérale d'	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1976
1589	Allemagne, République fédérale d'	External radiation exposure from natural radioactivity outside and in housings, with special reference to the influence of building materials
1590	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Environmental Quarterly, EML-349, 1 January 1979
1591	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Fallout in rainwater and airborne dust - levels in the UK during 1977
1592	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Radiation exposure of the UK population
1593	Japon	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 46, September 1978

Cote du document	Pays	Titre
A/AC/82/G/L.		
1594	Japon	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 47, December 1978
1595	Allemagne, République fédérale d'	Stochastic late effects after partial body irradiation in diagnostic radiology
1596	Union des Républiques socialistes soviétiques	Accumulation of radiostrontium by agricultural plants from soil in different soil and climatic conditions
1597	Union des Républiques socialistes soviétiques	Some peculiarities of the extra-radical pollution of agricultural plants in different soil-climatic zones of the country
1598	Union des Républiques socialistes soviétiques	Collective dose for the USSR population as a result of the use of the sources of ionizing radiation for medical purposes
1599	Union des Républiques socialistes soviétiques	Late effects expressed as a yield of the mammary tumours after iodine-131 incorporation in conditions of combined action
1600	Union des Républiques socialistes soviétiques	The biological danger of iodine-129
1601	Union des Républiques socialistes soviétiques	The distribution of strontium-90 in the soils of the Azerbaijanian SSR
1602	Union des Républiques socialistes soviétiques	The significance of iodine radionuclides in the toxicity of nuclear fission products
1603	Union des Républiques socialistes soviétiques	The content of strontium-90 and caesium-137 of global origin in the food of the USSR population 1974-1975

Cote du document	Pays	Titre
A/AC/82/G/L.		
1604	Union des Républiques socialistes soviétiques	Resorption and metabolism of iodine-131 after its accumulation through grass
1605	Union des Républiques socialistes soviétiques	The mechanism of the influence of lime and peat on the transfer of strontium-90 to the plants
1606	Union des Républiques socialistes soviétiques	The model of vertical migration of ¹³⁷ Cs in soils and prognostication of the exposure
1607	Union des Républiques socialistes soviétiques	The content of strontium-90 in bones of the USSR population in 1974-1975
1608	Union des Républiques socialistes soviétiques	Regularities in the behaviours of iodine radionuclides in the environment
1609	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Environmental Quarterly, EML-353, 1 April 1979
1610	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Environmental Quarterly, EML-356, 1 July 1979
1611	Japon	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 48, March 1979
1612	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et de l'Irlande du Nord	Radioactive fallout in air and rain : results to the end of 1978
1613	Argentine	⁹⁰ Sr and ¹³⁷ Cs from fallout in Argentina : monitoring results to the end of 1978
1614	Allemagne, République fédérale d'	Radiation levels in occupationally exposed persons

Cote du document	Pays	Titre
A/AC/82/G/L.		
1615	Allemagne, République fédérale d'	Radiation exposure in the Federal Republic of Germany in 1976 due to nuclear facilities
1616	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Environmental Quarterly, EML-363, 1 October 1979
1617	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Regional Baseline Station, Chester, NJ; EML-367
1618	Union des Républiques socialistes soviétiques	The application of radioactive admixtures for studies of the transport of compounds injected to the stratosphere
1619	Union des Républiques socialistes soviétiques	The assessment of repair parameters and the effective dose after single internal contamination of the organism with radionuclides
1620	Union des Républiques socialistes soviétiques	The possibility to use dogs' bones to indicate the content of strontium-90 in the human skeleton
1621	Suisse	22nd report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1978
1622	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Environmental Quarterly, EML-370, 1 January 1980
1623	Allemagne, République fédérale d'	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1977
1624	Allemagne, République fédérale d'	Report of the Federal Government on environmental radioactivity and radiation levels in the year 1977
1625	Allemagne, République fédérale d'	Methods and results of surveillance of radionuclides released from nuclear power plants

Cote du document	Pays	Titre
A/AC/82/G/L.		
1626	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Radioactivity in human diet
1627	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Fallout in rainwater and airborne dust - levels in the UK during 1978
1628	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Environmental Quarterly, EML-371, 1 April 1980
1629	Union des Républiques socialistes soviétiques	Photon radiation of natural radionuclides
1630	Union des Républiques socialistes soviétiques	Ratio of ^{210}Po to ^{210}Pb in the bones of humans and animals
1631	Union des Républiques socialistes soviétiques	The content of ^{90}Sr and ^{137}Cs in food products of the Estinian SSR 1966-1975
1632	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Environmental Quarterly, EML-374, 1 July 1980
1633	France	Surveillance de la radioactivité en 1977
1634	France	Surveillance de la radioactivité en 1978
1635	Allemagne, République fédérale d'	Environmental radioactivity and radiation levels in the year 1978
1636	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Environmental Quarterly, EML-381, 1 October 1980
1637	Japon	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 50, September 1979

Cote du document	Pays	Titre
A/AC/82/G/L.		
1638	Union des Républiques socialistes soviétiques	Genetic effects in populations after the action of ionizing radiation
1639	Japon	Radioactivity Survey Data in Japan, Number 49, June 1979
1640	Suisse	23rd Report of the Federal Commission on Radioactivity of the year 1979
1641	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Regional Baseline Station, Chester, N.J.
1642	Union des Républiques socialistes soviétiques	Caesium-137 and strontium-90 in the biosphere of polar regions of the USSR
1643	Union des Républiques socialistes soviétiques	Strontium-90 in bone tissue of the USSR population for the period 1973-1978
1644	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Radioactive fallout in air and rain : results to the end of 1979
1645	Belgique	Radioactivity measured at Mol 1972
1646	Belgique	Radioactivity measured at Mol 1973
1647	Belgique	Radioactivity measured at Mol 1974
1648	France	Surveillance de la radioactivité en 1979
1649	Japon	Radioactivity Survey Data in Japan Number 51, December 1979
1650	Etats-Unis d'Amérique	Environmental Measurements Laboratory : Environmental Quarterly, EML-390, 1 May 1981

Cote du document	Pays	Titre
A/AC/82/G/L.		
1651	Allemagne, République fédérale d'	Environmental radioactivity and radiation levels, annual report 1978
1652	Argentine	Radiological impact of radioactive waste management
1653	Argentine	Levels of ¹³⁷ Cs and ⁹⁰ Sr in environmental samples in Argentina 1960-1980
1654	Argentine	Exposure of the public related to the operation of the nuclear power plant in Atucha
1655	Argentine	Doses from occupational exposure at the Comisión Nacional de Energía Atómica during 1977-1980
1656	Argentine	Determination of absorbed doses in a computerized tomography scanner
1657	Union des Républiques socialistes soviétiques	Questions concerning the metabolism of carbon-14
1658	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Fallout in rainwater and airborne dust - levels in the UN during 1979
1659	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Radioactive fallout in air and rain : results to the end of 1980
1660	Japon	Radioactivity Survey Data in Japan Number 52, March 1980
1661	Japon	Radioactivity Survey Data in Japan Number 53, June 1980
1662	Union des Républiques socialistes soviétiques	The formation of effective dose during chronic intake of various radionuclides in the body

Cote du document	Pays	Titre
A/AC/82/G/L.		
1663	Union des Républiques socialistes soviétiques	Isotopes of the uranium and thorium series in fertilizers containing phosphorus, arable soils and agricultural plants
1664	Union des Républiques socialistes soviétiques	The combined effect on the body of ionizing and non-ionizing radiation and certain other factors
1665	Japon	Radioactivity Survey Data in Japan Number 54, September 1980
1666	Japon	Radioactivity Survey Data in Japan Number 55, December 1980
1667	Japon	Radioactivity Survey Data in Japan Number 56, March 1981
1668	Nouvelle-Zélande	Environmental Radioactivity Annual Report 1980
1669	France	Surveillance de la radioactivité en 1980
1670	Etats-Unis d'Amérique	Environmental measurements Laboratory : Environmental Report, EML-395, 1 November 1981
1671	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Environmental radioactivity surveillance programme : results for the UN for 1980
1672	Suisse	24th Report of the Federal Commission on Radioactivity for the year 1980