PUBLICATION CIPR 26

RECOMMANDATIONS DE LA COMMISSION INTERNATIONALE DE PROTECTION RADIOLOGIQUE

(Adoptées le 17 janvier 1977)

PROJET

Traduit par Mme A. DUCHÊNE
sous la direction du Dr H. JAMMET
Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire
Département de Protection

Traduction * faite d'après l'ouvrage original

PUBLIE POUR

LA COMMISSION INTERNATIONALE DE PROTECTION RADIOLOGIQUE

par

PERGAMON PRESS

SOUS LE TITRE

Recommendations of the International Commission on Radiological Protection

(adopted January 17, 1977)

* Nous tenons à remercier

Mme M. ODIEVRE pour sa participation à cette traduction et
Mme M. BELARDY pour la mise en page et la réalisation matérielle

A. INTRODUCTION

(1) La Commission Internationale de Protection Radiologique fonctionne depuis 1928, date à laquelle elle a été créée par le deuxième Congrès International de Radiologie. Elle a pris, en 1950, sa forme d'organisation actuelle de manière à couvrir plus efficacement le domaine de la protection radiologique en rapide expansion. Comme l'une des commissions créées par le Congrès International de Radiologie, la CIPR a maintenu des relations étroites avec les Congrès successifs, tout en étant également considérée comme l'organisme approprié pour indiquer la conduite à tenir dans l'utilisation de plus en plus large des sources de rayonnements par suite des progrès rapides dans le domaine de l'énergie nucléaire. La Commission continue à maintenir ses contacts traditionnels avec la radiologie médicale et la profession médicale en général. Elle reconnaît aussi sa responsabilité vis-à-vis d'autres groupes professionnels et le devoir qui lui incombe de fixer les grandes lignes de la protection contre les rayonnements dans l'ensemble de ce domaine. Des détails sur les statuts de la Commission, sur sa composition et ses relations avec d'autres organismes sont donnés dans l'annexe à ce rapport.

(2) Les premières recommandations de la CIPR ont été publiées en 1928, suivies par d'autres rapports en 1931, 1934 et 1937. Après la réorganisation de la Commission en 1950, des recommandations fondamentales furent publiées en 1951, 1955 et 1959. La liste de ces publications et d'autres recommandations de la CIPR est donnée dans l'annexe à ce rapport.

(3) En 1966 parurent les recommandations adoptées par la Commission en 1965 *(Publication 9 de la CIPR)* ; celles-ci furent amendées en 1969 et 1971. De nouvelles informations ayant été obtenues au cours de la dernière décennie une révision des principes fondamentaux recommandés par la Commission s'imposait. Le présent rapport résulte de l'examen de ces nouvelles informations par la Commission, ses comités et ses groupes de travail. Les recommandations faites dans ce rapport remplacent les recommandations fondamentales publiées antérieurement par la Commission, mais pas nécessairement celles de ses comités [*]. Bien que la présente publication contienne une analyse complète de toutes les recommandations de la Commission, des références y sont faites à d'autres rapports de comités et de groupes de travail de la CIPR, dans lesquels divers points sont étudiés plus en détail.

(4) Comme dans ses recommandations antérieures, la Commission traite ici uniquement des rayonnements ionisants. Tout en reconnaissant qu'un

---

[*] Un état des diverses publications des comités est donné dans l'annexe à ce rapport.

certain nombre de sources de rayonnements non ionisants devraient être soumises à un contrôle adéquat, la Commission continue à considérer que ce sujet se trouve en dehors de son domaine d'action.

(5) La Commission tient à rappeler que sa politique consiste à étudier les principes fondamentaux à partir desquels il est possible d'élaborer des mesures appropriées de protection contre les rayonnements. En raison de la différence des conditions appliquées dans divers pays, c'est aux diverses instances internationales et nationales, plus au courant de ce qui convient le mieux à leurs besoins respectifs, qu'il appartient d'élaborer des directives détaillées pour l'application des recommandations sous forme soit de règlements soit de codes de pratique. La Commission reconnaît que les divers experts responsables de la mise en pratique de la protection contre les rayonnements ont besoin de directives suffisamment souples pour permettre leur adaptation sur le plan national, régional ou autre. Les recommandations de la Commission devraient donc présenter un degré de flexibilité approprié et c'est pourquoi, la forme sous laquelle elles sont énoncées ne conviendra pas nécessairement, et sera même souvent impropre, à une transposition directe en règlements ou codes de pratique. Des indications générales pour l'application des recommandations de la Commission sont données aux chapitres F et G.

B. OBJECTIFS DE LA PROTECTION CONTRE LES RAYONNEMENTS

(6) La protection contre les rayonnements a pour but de protéger les individus, leurs descendants et le genre humain dans son ensemble, tout en permettant d'exercer des activités qui sont nécessaires, mais qui pourraient entraîner une exposition aux rayonnements. Les effets préjudiciables dont il y a lieu de se protéger comprennent les effets somatiques et les effets héréditaires. Les effets dus aux rayonnements sont dits "somatiques" lorsqu'ils se manifestent chez l'individu exposé lui-même et "héréditaires" lorsqu'ils affectent sa descendance.

(7) On appelle effets "stochastiques" ceux pour lesquels c'est la probabilité d'apparition de l'effet et non sa gravité qui est considérée comme une fonction, sans seuil, de la dose. Les effets "non stochastiques" sont ceux pour lesquels c'est la gravité de l'effet qui varie avec la dose et pour lesquels il peut donc y avoir un seuil. Aux niveaux de dose qui intéressent la protection contre les rayonnements, les effets héréditaires sont considérés comme stochastiques. Parmi les effets somatiques, certains sont stochastiques, en particulier la cancérogénèse qui est considérée comme étant le principal risque somatique de l'irradiation aux faibles doses et, par conséquent, le problème majeur en protection contre les rayonnements.

(8) Certains effets somatiques non stochastiques sont spécifiques de tissus déterminés; c'est le cas de la cataracte, des atteintes non malignes de la peau, de l'appauvrissement en cellules de la moelle osseuse

entraînant une insuffisance hématologique et du dommage cellulaire dans les gonades provoquant une diminution de la fertilité. D'autres effets non stochastiques peuvent être produits dans les vaisseaux sanguins ou les éléments du tissu conjonctif, présents dans la plupart des organes du corps, et c'est pourquoi, par précaution, il devrait y avoir une limite d'équivalent de dose pour tous les tissus de l'organisme de manière à éviter toute apparition d'effet non stochastique dans ces tissus. Pour l'ensemble de ces transformations, la gravité de l'effet dépend de l'importance de la dose reçue et il existe donc probablement une dose-seuil bien définie au-dessous de laquelle on n'observe aucun effet nocif.

(9) Le but de la protection contre les rayonnements devrait être de prévenir les effets nocifs non stochastiques et de limiter la probabilité d'apparition des effets stochastiques à des niveaux jugés acceptables. Un objectif supplémentaire est de s'assurer que les pratiques impliquant une exposition aux rayonnements sont justifiées (voir paragraphe 12 et chapitres E et F).

(10) Il est possible de prévenir les effets non stochastiques en fixant les limites d'équivalent de dose à des valeurs suffisamment basses pour qu'aucune dose-seuil ne puisse être atteinte, même si l'exposition s'étend sur toute la vie ou sur toute la durée de la vie professionnelle. Pour limiter les effets stochastiques, il faut maintenir toutes les expositions justifiables aux valeurs les plus faibles que l'on peut raisonnablement atteindre compte tenu des facteurs économiques et sociaux, sous la condition absolue que les limites appropriées d'équivalent de dose ne soient pas dépassées (voir paragraphes 103 - 128).

(11) La plupart des décisions concernant les activités humaines sont fondées sur un bilan implicite des coûts et des avantages qui permet de conclure que la mise en oeuvre d'une pratique déterminée en "vaut la peine". Plus rarement, on reconnaît également qu'une fois la pratique choisie, sa mise en oeuvre doit être ajustée de manière à rendre maximal le bénéfice pour l'individu ou pour la société. En protection contre les rayonnements, on commence à pouvoir systématiser ces grands processus de prise de décision, bien qu'il ne soit pas toujours possible de les exprimer quantitativement. Les méthodes utilisées sont discutées plus en détail au chapitre E. Toutefois, l'application de ces méthodes ne garantit pas toujours une protection suffisante de l'individu. Il est donc nécessaire, pour cette raison également, de fixer des limites d'équivalent de dose pour le cas où avantages et détriments ne concernent pas les mêmes membres de la population.

(12) Les motifs exposés ci-dessus ont amené la Commission à recommander un système de limitation des doses dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

a) aucune pratique ne doit être adoptée à moins que son introduction ne produise un bénéfice net positif ;
b) toutes les expositions doivent être maintenues au niveau le plus bas que l'on pourra raisonnablement atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux ;
c) l'équivalent de dose reçu par les individus ne doit pas dépasser

les limites recommandées par la Commission dans les circonstances en question.

(13) En appliquant ces recommandations, il faut noter que de nombreuses pratiques actuelles sont à l'origine d'équivalents de dose qui seront reçus dans le futur. Aussi, faudra-t-il tenir compte de ces engagements d'équivalent de dose (voir paragraphe 25), pour que les développements indispensables des pratiques actuelles ou futures ne risquent pas d'entraîner une exposition excessive des personnes du public.

(14) Bien que l'objectif principal de la protection contre les rayonnements soit la mise en oeuvre et le maintien de conditions de sécurité appropriées pour les activités impliquant une exposition de l'homme, il est probable que le niveau de sécurité nécessaire pour assurer la protection de tous les hommes à titre individuel convient également pour protéger les autres espèces, sinon nécessairement tous les individus de ces espèces. La Commission pense donc que si l'homme est protégé de manière adéquate, il est probable que les autres êtres vivants sont également suffisamment protégés.

C. CONCEPTS FONDAMENTAUX

Détriment

(15) Les effets préjudiciables de l'exposition aux rayonnements peuvent être de nature très diverse. En ce qui concerne les effets sur la santé, il peut en résulter des effets aussi bien stochastiques que non stochastiques chez l'individu exposé et des effets stochastiques dans les générations ultérieures. De plus, il peut y avoir des effets préjudiciables ne concernant pas la santé comme, par exemple, la nécessité de restreindre l'utilisation de certaines zones ou de certains produits.

(16) La Commission a introduit le concept de détriment pour identifier et, chaque fois que cela est possible, quantifier tous ces effets préjudiciables. En général, le détriment dans une population est défini comme le concept mathématique "espérance" du dommage qui pourrait résulter d'une exposition aux rayonnements, compte tenu non seulement de la probabilité d'apparition de chaque type d'effet préjudiciable, mais aussi de la gravité de cet effet. Ces effets préjudiciables comprennent aussi bien les effets sur la santé que les autres effets. Dans certains cas, il est commode de traiter séparément les effets, ou les effets potentiels, sur la santé. Ceux-ci sont alors caractérisés par le concept de détriment pour la santé. Dans ce cas, si la probabilité p_i d'avoir à subir l'effet i est faible et si la gravité de cet effet est exprimée par un facteur de pondération g_i, le détriment pour la santé, G, dans un groupe de P

personnes, sera donné par la relation :

$$G = P \sum_i p_i g_i$$

Equivalent de dose

(17) La dose absorbée ⁎, D, est par elle-même insuffisante pour prédire soit la gravité, soit la probabilité d'apparition des effets nocifs pour la santé qui pourraient résulter d'une irradiation dont les conditions ne sont pas précisées. Pour la protection contre les rayonnements, on a trouvé commode d'introduire une grandeur supplémentaire qui donne une meilleure corrélation avec les effets nocifs les plus importants de l'exposition aux rayonnements, en particulier avec les effets stochastiques tardifs. Cette grandeur, appelée équivalent de dose, correspond à la dose absorbée pondérée par les facteurs modificatifs Q et N donnés aux paragraphes 18 - 20.

(18) L'équivalent de dose, H, en un point du tissu est donné par l'équation :

$$H = DQN$$

où D est la dose absorbée, Q le facteur de qualité et N le produit de tous les autres facteurs modificatifs indiqués par la Commission. De tels facteurs pourraient rendre compte, par exemple, du débit et du fractionnement de la dose absorbée. Actuellement, la Commission a attribué à N la valeur 1. Le nom spécial donné à l'unité d'équivalent de dose est le sievert (Sv)

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Jkg}^{-1} \quad (= 100 \text{ rems})$$

(19) Le facteur de qualité Q est destiné à traduire l'influence de la distribution microscopique de l'énergie absorbée sur le détriment. Il est défini comme une fonction du pouvoir d'arrêt par collision (L_∞) dans l'eau au point considéré. La figure 1, fondée sur les valeurs données dans le tableau ci-dessous, permet d'obtenir les valeurs interpolées de Q en fonction de L_∞.

Relation $Q - L_\infty$

L_∞ dans l'eau (keV/µm)	Q
3,5 (et au-dessous)	1
7	2
23	5
53	10
175 (et au-dessus)	20

⁎ Commission Internationale des Unités et Mesures Radiologiques : Grandeurs et Unités Radiologiques, *Rapport CIUR 19* (Radiation Quantities and Units, ICRU Report 19). International Commission on Radiation Units and Measurements, Washington, 1971.

Dans le cas d'un spectre de rayonnements, on peut calculer la valeur effective $\overline{Q}$ du facteur Q au point considéré *.

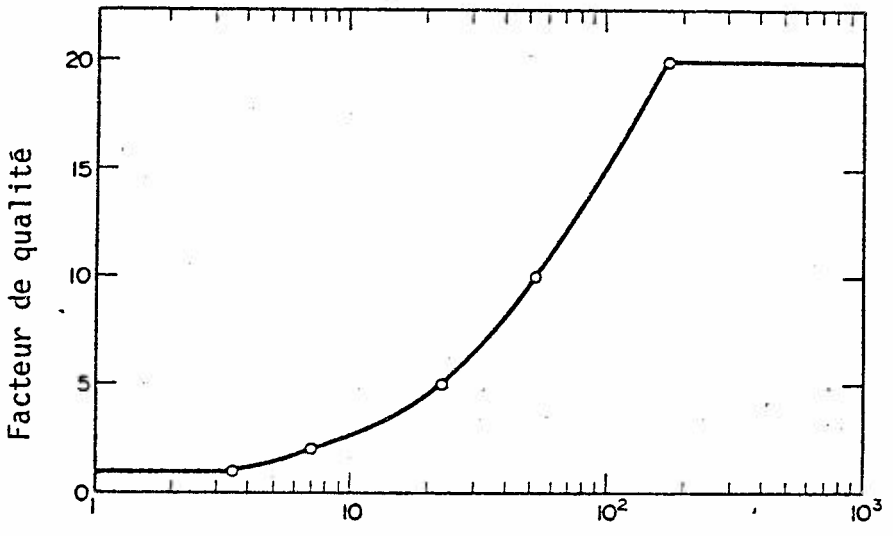

Fig. 1. Le facteur de qualité en fonction du pouvoir d'arrêt par collision dans l'eau

(20) Lorsque la distribution en L_∞ du rayonnement n'est pas connue en tous les points du volume considéré, on peut utiliser pour $\overline{Q}$ des valeurs approximatives correspondant aux divers types de rayonnements primaires. Dans ce cas, la Commission recommande d'utiliser pour $\overline{Q}$, aussi bien en irradiation externe qu'en irradiation interne, les valeurs suivantes :

Rayons X, rayons γ et électrons	1
Neutrons, protons et particules à une seule charge ayant une masse au repos supérieure à une unité de masse atomique et dont l'énergie n'est pas connue	10
Particules α et particules à charge multiple (ainsi que particules à charge inconnue), dont l'énergie n'est pas connue	20

Dans le cas des neutrons thermiques, L_∞ est défini comme ayant une valeur unique et $\overline{Q}$ peut être tiré des tables et courbes qui donnent $\overline{Q}$ en fonction de l'énergie des neutrons (ainsi *la Publication CIPR 21*, figure 15, donne $\overline{Q}$ = 2,3 pour les neutrons thermiques).

---

* Commission Internationale des Unités et Mesures Radiologiques : *Equivalent de dose* (Dose equivalent), *Supplément au Rapport CIUR 19*. International Commission on Radiation Units and Measurements, Washington, 1973.

(21) Les valeurs recommandées pour Q et $\overline{Q}$ sont destinées à être utilisées uniquement en protection contre les rayonnements, et ceci pour comparer les niveaux réels d'exposition aux limites d'équivalent de dose ou pour évaluer les composantes du détriment dont on tient compte pour la fixation de ces limites. Les valeurs de Q et $\overline{Q}$ ont été choisies sur la base des valeurs appropriées de l'efficacité biologique relative, mais elles tiennent compte également du fait que les limites d'équivalent de dose (voir paragraphes 103 - 104) sont fondées sur des extrapolations faites à partir de doses absorbées plus élevées auxquelles on peut déterminer directement des effets nocifs chez l'homme. Ces valeurs de Q ne sont donc pas nécessairement représentatives des valeurs de l'efficacité biologique relative correspondant à d'autres effets observés, tels que les effets stochastiques chez les animaux aux doses absorbées de faible niveau ou les effets non stochastiques chez l'homme lorsque les doses absorbées sont élevées. Il est particulièrement important de ne pas utiliser l'équivalent de dose pour évaluer les conséquences précoces possibles à la suite d'expositions accidentelles importantes chez l'homme.

Equivalent de dose collectif

(22) La relation entre le détriment et la distribution de l'équivalent de dose dans une population exposée n'est pas simple et aucune grandeur ne peut à elle seule représenter correctement la distribution lorsqu'il s'agit d'évaluer le détriment. Néanmoins, dans un grand nombre de cas, la grandeur appelée équivalent de dose collectif peut rendre de précieux services. L'équivalent de dose collectif (S) dans une population est défini par l'expression

$$S = \sum_i H_i P_i$$

où H_i est l'équivalent de dose *par personne* au niveau soit de l'organisme entier soit d'un organe ou d'un tissu donnés pour les P_i membres du sous groupe (i) de la population exposée. L'utilisation de ce concept est étudiée aux paragraphes 219, 221 et 232.

(23) L'équivalent de dose collectif (S_k) dû à une pratique ou une source déterminées (k) est défini par l'expression

$$S_k = \int_0^\infty HP(H)\,dH$$

où $P(H)dH$ représente le nombre d'individus recevant un équivalent de dose compris dans l'intervalle H à $H + dH$, au niveau soit de l'organisme entier, soit d'un organe ou d'un tissu donnés. Il est souvent inutile d'évaluer avec précision les contributions dues aux faibles valeurs de H, sous réserve qu'une estimation par excès montre qu'elles n'ajouteraient pas une contribution significative à l'intégrale totale. Habituellement, la borne supérieure de l'intégration est déterminée par les limites appropriées de l'équivalent de dose. Un équivalent de dose collectif comprenant des contributions dues à des doses élevées ne convient pas pour des évaluations du type de celles décrites au paragraphe 24.

(24) Il résulte de la définition du détriment pour la santé (paragraphe 16), que s'il existe une relation proportionnelle entre H et p_i (voir paragraphes 27 - 30) et si g_i est indépendant de H, le détriment pour la santé, G, est proportionnel à l'équivalent de dose collectif, S_k. La validité de cette relation entre le détriment et l'équivalent de dose collectif dépend de la validité de la relation linéaire, sans seuil, admise entre le risque et l'équivalent de dose. La Commission a souligné qu'il s'agissait là d'une hypothèse prudente dont l'exactitude n'a pas encore été démontrée et on pourrait concevoir que les facteurs de proportionnalité ou facteurs de risque (risque par unité d'équivalent de dose) puissent varier avec l'équivalent de dose antérieurement accumulé. Toutefois, lorsque les pratiques utilisées n'entraînent que de faibles accroissements de l'équivalent de dose par rapport à celui correspondant au fond naturel de rayonnements, le détriment additionnel pour la santé, ΔG, résultant d'une pratique (k) doit être étroitement proportionnel à S_k, même si la constante de proportionnalité n'est pas connue. De plus, il y aurait encore proportionnalité approximative dans les cas où tous les équivalents de dose individuels seraient compris dans une partie grossièrement linéaire de la relation dose-réponse.

Engagement d'équivalent de dose

(25) D'autres grandeurs deviennent nécessaires lorsque l'exposition se prolonge dans le temps. L'engagement d'équivalent de dose, $H_{eng.}$, résultant d'une décision ou d'une pratique données correspond à l'intégration à l'infini par rapport au temps du débit d'équivalent de dose *par personne*, $\bar{\dot{H}}(t)$, au niveau d'un organe ou d'un tissu donnés, pour une population déterminée :

$$H_{eng.} = \int_0^\infty \bar{\dot{H}}(t)\,dt$$

La population exposée ne comprend pas nécessairement un nombre constant de personnes. Il est également possible de définir un engagement d'équivalent de dose collectif qui est obtenu par intégration du débit d'équivalent de dose collectif.

Equivalent de dose engagé

(26) Une autre grandeur utilisée dans les présentes recommandations est "l'équivalent de dose engagé", H_{50}, qui résulte au niveau d'un organe ou d'un tissu donnés d'une incorporation unique de substances radioactives. Cette grandeur, qui peut être considérée comme un cas particulier de l'engagement d'équivalent de dose, correspond à l'équivalent de dose qui sera accumulé en 50 ans, durée habituelle de la vie professionnelle, à la suite de l'incorporation :

$$H_{50} = \int_{t_0}^{t_0 + 50a} \dot{H}(t)\,dt$$

où $\dot{H}(t)$ représente le débit d'équivalent de dose approprié et t_0 l'instant de l'incorporation.

D. CONSIDERATIONS RADIOBIOLOGIQUES

RELATIONS DOSE-REPONSE

(27) La relation qui existe entre la dose reçue par l'individu et un effet biologique déterminé induit par irradiation constitue un sujet complexe dont l'éclaircissement exige encore beaucoup de travail. Aussi, pour les besoins de la protection contre les rayonnements, est-il nécessaire de faire certaines hypothèses simplificatrices. Parmi celles-ci, l'un des hypothèses fondamentales sur lesquelles s'appuient les recommandations de la Commission est que, dans les conditions d'exposition habituellement rencontrées lors du travail sous rayonnement, il existe pour les effets stochastiques une relation linéaire sans seuil entre la dose et la probabilité d'apparition d'un effet. En effet, c'est seulement en se fondant sur cette hypothèse et sur le fait que la gravité de chaque type d'effet est indépendante de la dose que l'on peut utiliser la simple sommation des doses reçues par un tissu ou un organe comme mesure du risque total et le calcul de l'équivalent de dose collectif (voir paragraphes 22 et 23) comme indice du détriment total pour une population.

(28) Le risque supplémentaire dû à un accroissement de dose donné dépendra de la pente de la relation dose-réponse. Si la relation dose-réponse pour les processus stochastiques est, de fait, fortement sigmoïde, le risque dû aux faibles doses pourrait être surestimé lorsqu'on fait une extrapolation linéaire à partir de données obtenues à des doses élevées. Il existe des raisons radiobiologiques pour penser que, dans le cas des rayonnements de faible TLE, la pente de la courbe dose-réponse augmente en général avec la dose et le débit de dose dans l'intervalle des doses absorbées allant jusqu'à quelques grays *. Pour un grand nombre d'effets qui ont été étudiés expérimentalement, la réponse observée dans cet intervalle de doses peut être représentée par une expression de la forme:

$$E = aD + bD^2 \quad ***$$

où E représente l'effet, D la dose, "a" et "b" étant des constantes. Dans

---

* 1 gray (Gy) = 1 Jkg^{-1} (= 100 rads).

** Aux doses élevées, il faudrait modifier cette expression pour tenir compte de la diminution du risque d'induction de tumeurs par suite de la stérilisation des cellules. Cet effet n'est pas significatif aux doses rencontrées dans les conditions normales d'exposition. (Voir, cependant, le paragraphe 33).

cette expression le terme au carré (bD^2) est prépondérant pour les doses absorbées élevées (en général au-dessus de 1 gray) et pour les débits de dose absorbée élevés (de l'ordre de 1 gray par minute) ; toutefois, lorsque la dose et le débit de dose diminuent, le terme linéaire (αD) et la pente qu'il représente deviennent prépondérants. Bien qu'une relation de cette forme ait été signalée pour des effets très divers, il apparaît que les valeurs relatives des paramètres "α" et "b" varient d'une observation à l'autre. Il reste encore à déterminer dans quelle mesure cette relation peut différer pour d'autres cas. Pour les populations humaines, en particulier, la connaissance que l'on a de la relation dose-réponse est trop limitée pour permettre de prédire avec certitude les formes et les pentes des courbes aux faibles doses et aux faibles débits de dose. Néanmoins, dans quelques cas les estimations de risque peuvent être fondées sur des données obtenues après exposition de populations humaines soit à des doses absorbées uniques de l'ordre de 0,5 Gy ou au-dessous, soit à des doses de cet ordre répétées à des intervalles de quelques jours ou plus. Il est alors raisonnable d'admettre que la fréquence par unité de dose absorbée des effets particulièrement dommageables résultant de telles expositions ne représente probablement pas une forte surestimation de la fréquence avec laquelle ces mêmes effets sont induits par des doses de l'ordre de celles que l'on rencontre en protection contre les rayonnements, bien que ces dernières puissent être reçues à des débits de dose beaucoup plus faibles.

(29) Cependant, dans un grand nombre de cas, les estimations de risque sont établies sur la base de données obtenues à partir d'irradiations ayant entraîné des doses plus élevées délivrées à des débits de dose élevés. Dans de tels cas, il est probable que la fréquence des effets par unité de dose sera plus faible après exposition à de faibles doses ou à de faibles débits de dose et, c'est pourquoi, il peut être approprié de réduire ces estimations d'un facteur qui tienne compte de la différence probable des risques. Les facteurs de risque examinés plus loin ont donc été choisis dans la mesure du possible pour s'appliquer aux objectifs pratiques de la protection contre les rayonnements.

(30) L'emploi d'extrapolations linéaires, à partir de la fréquence des effets observée aux doses élevées, peut suffire pour déterminer une limite supérieure du risque, à laquelle on pourra comparer les avantages d'une pratique ou les risques présentés par une autre pratique — qui n'entraîne pas d'exposition aux rayonnements —. Toutefois, plus cette hypothèse de linéarité est prudente, plus il devient important de reconnaître qu'elle peut conduire à une surestimation des risques dus aux rayonnements, laquelle à son tour pourrait conduire au choix d'alternatives plus dangereuses en elles-mêmes que les pratiques entraînant une exposition aux rayonnements. Aussi, lorsqu'il s'agit de faire un choix entre plusieurs pratiques, les estimations des risques dus aux rayonnements ne devraient être utilisées qu'avec beaucoup de prudence et en reconnaissant explicitement la possibilité qu'aux faibles doses le risque réel peut être inférieur à celui déduit d'une hypothèse délibérément prudente de proportionnalité.

CONSEQUENCES DES HYPOTHESES FAITES SUR LES RELATIONS DOSE-REPONSE

(31) Un système pratique de protection contre les rayonnements doit être fondé sur certaines hypothèses simplificatrices si l'on veut qu'il soit effectivement appliqué. Des hypothèses déjà faites sur la proportionnalité entre la dose et l'effet pour l'ordre de grandeur des doses que l'on rencontre en protection contre les rayonnements découlent certains principes qui peuvent être appliqués à des problèmes importants du point de vue pratique tels celui des surfaces et volumes significatifs et celui du débit avec lequel les doses sont accumulées. Ces deux problèmes sont traités dans les paragraphes ci-dessous.

Surfaces et volumes significatifs

(32) De l'hypothèse faite sur la proportionnalité entre la dose et la réponse (voir paragraphes 27 - 30), il résulte que pour les effets stochastiques il serait justifié de tenir compte de la dose * moyenne obtenue pour l'ensemble des cellules de même sensibilité dans un tissu ou un organe déterminés. Cette utilisation de la dose moyenne présente des avantages pratiques puisqu'elle permet généralement de prendre comme volume significatif celui de l'organe ou du tissu considérés.

(33) Lorsque l'irradiation d'un tissu n'est pas homogène, l'utilisation de la dose moyenne obtenue sur l'ensemble du tissu cesse d'être strictement correcte si la différence entre les doses reçues par les cellules individuelles est supérieure à l'intervalle des doses dans lequel la relation dose-réponse pour ce tissu peut être considérée comme linéaire. Il peut en être ainsi, par exemple, lors de l'irradiation du poumon par des substances radioactives sous forme particulaire. Cependant, en se fondant sur des considérations théoriques et sur les données épidémiologiques disponibles, la Commission pense qu'en général, en ce qui concerne les effets stochastiques tardifs, l'absorption d'une même quantité d'énergie de rayonnement produit probablement un effet moindre lorsqu'elle résulte d'une série de "points chauds" que lorsqu'elle est uniformément distribuée, du fait que les doses élevées peuvent provoquer la mort des cellules ou la perte de leur capacité reproductive. Ainsi, lorsque des sources radioactives se trouvent sous forme particulaire dans un tissu, évaluer le risque en admettant une distribution homogène de la dose conduit probablement à une surestimation du risque réel. D'autre part, en ce qui concerne les effets non-stochastiques, il est très peu probable que la perte cellulaire limitée qui pourrait être produite par des doses modérées entraîne une perturbation quelconque de la fonction de l'organe.

---

* Sauf indication spéciale, le terme d'équivalent de dose désigne l'équivalent de dose moyen sur l'ensemble de l'organe ou du tissu.

(34) Dans le cas d'une exposition de la peau soit à des sources externes soit à la suite d'une contamination cutanée, il n'est généralement pas approprié de faire la moyenne de l'équivalent de dose sur l'ensemble de la peau. La manière dont on fera la moyenne dépendra des circonstances, comme il est exposé plus en détail aux paragraphes 182 et 183.

Rythme d'accumulation des doses

(35) Auparavant, la Commission recommandait que, dans le cas d'exposition professionnelle, la grandeur d'un équivalent de dose unique soit limitée à la moitié de la limite annuelle qui lui avait été antérieurement fixée. Cette pratique qui était destinée à prévenir l'accumulation, dans un intervalle de temps court, d'un équivalent de dose supérieur à la limite annuelle apparaît maintenant comme étant inutile. C'est pourquoi la Commission pense qu'il suffit de fixer des limites d'équivalent de dose annuelles ; elle ne recommande donc plus d'autres restrictions concernant soit le débit instantané soit le rythme avec lequel l'équivalent de dose peut être accumulé, excepté dans les cas d'exposition professionnelle de femmes en état de procréer et de femmes enceintes (voir paragraphes 115 et 116). En conséquence, la Commission ne recommande plus d'utiliser la formule antérieure liée à l'âge.

SENSIBILITE DES TISSUS

(36) Dans ses recommandations antérieures, la Commission indiquait que, lors de l'exposition de plus d'un organe du corps, il était probable que l'irradiation de l'un des organes ou tissus avait une importance prépondérante en raison de la dose qu'il recevait, de sa sensibilité aux rayonnements ou de l'importance qu'aurait pour la santé tout dommage produit. Ce tissu ou cet organe était alors considéré comme le tissu ou l'organe critiques dans les circonstances particulières de l'irradiation et la limitation de la dose pour l'individu était déterminée par la limite d'équivalent de dose fixée pour ce tissu ou cet organe. Ainsi utilisé, le concept d'organe critique ne permettait pas de faire la somme du détriment en tenant compte des radiosensibilités relatives des tissus irradiés. La méthode que la Commission recommande maintenant tient compte du risque total imputable à l'exposition de tous les tissus irradiés (voir paragraphes 104, 105 et 125).

(37) Pour les besoins de la protection contre les rayonnements, il est nécessaire de préciser un certain nombre d'organes et tissus qui devront être pris en considération en raison de leur aptitude à être lésés par les rayonnements, de la gravité d'une telle lésion et des possibilités éventuelles de traitement de cette lésion. Dans le présent chapitre, la Commission expose brièvement les hypothèses faites à propos de ces caractéristiques à des fins de protection contre les rayonnements.

(38) Parmi les facteurs quantitatifs de risque traités dans les paragraphes ci-dessous, certains varient nettement avec l'âge et le sexe ; c'est le cas, par exemple, des facteurs relatifs au développement du cancer du sein ou à l'induction de tares héréditaires. De plus, les facteurs de risque correspondant à l'apparition d'affections malignes sont plus petits pour les personnes âgées en raison des longues périodes de latence inhérentes au développement de ces effets. Ces différentes raisons font que le risque total dû à une exposition individuelle variera quelque peu avec l'âge et le sexe, bien qu'en fait pour tous les âges et pour chacun des sexes les variations par rapport à la valeur moyenne ne soient pas importantes. On obtiendra donc une précision suffisante pour les besoins de la protection en utilisant une seule limite d'équivalent de dose effectif * pour tous les travailleurs quel que soit leur âge ou leur sexe. Cette limite est fondée sur les niveaux moyens de risque décrits ci-dessous pour les divers organes ou tissus. Le même principe s'applique également lorsqu'il s'agit des différents membres du grand public.

(39) Les facteurs de risque concernant les différents tissus sont fondés sur une estimation de la probabilité d'induction d'une affection maligne fatale, de modifications non-stochastiques ou d'anomalies génétiques importantes qui se manifesteraient chez les descendants nés vivants. On sait qu'une quantification correcte du détriment devrait être fondée également sur l'évaluation de toutes les autres formes de préjudice et de souffrance susceptibles de résulter d'une exposition. Ce problème fait l'objet d'un rapport qui est actuellement préparé par un groupe de travail à l'intention de la Commission. Il semble probable que les formes de détriment mentionnées ci-dessus seront considérées comme constituant les composantes dominantes du préjudice qui peut être produit par les rayonnements et comme étant les plus appropriées pour servir de base aux facteurs de risque.

Gonades

(40) Les effets nocifs produits par l'irradiation des gonades peuvent être de trois différents types : induction de tumeurs, altération de la fertilité chez l'individu irradié et effets héréditaires chez les descendants.

(41) Les gonades humaines semblent avoir une sensibilité relativement faible à l'induction de cancers par irradiation puisque jusqu'à présent aucun effet cancérigène sur ces organes n'a pu être mis en évidence d'une manière concluante.

(42) Chez la femme, l'altération de la fertilité varie avec l'âge. Une dose absorbée de 3 Gy (rayonnements de faible TLE) pourrait entraîner une induction de la ménopause avec arrêt permanent de la fertilité chez une femme âgée de 40 ans, alors que la même dose absorbée ne pourrait provo-

---

* Voir paragraphe 104.

quer qu'une aménorrhée temporaire chez une femme âgée de 20 ans. La différence est liée au fait que la production de nouveaux oocytes s'arrête normalement dans l'enfance, le nombre de ces cellules diminuant progressivement avec l'âge après apparition de la menstruation, puisque les oocytes perdus par l'ovaire du fait de l'ovulation ou pour d'autres raisons ne sont pas remplacés. Dans les testicules, au contraire, les spermatozoïdes sont continuellement renouvelés au cours de toute la vie adulte par prolifération des spermatogonies et d'autres cellules de la lignée spermatique. L'épuisement de ces cellules par irradiation peut être réparé si un nombre suffisant de spermatogonies restent intactes pour repeupler les testicules affectés. Bien que la concentration du sperme en spermatozoïdes puisse être temporairement abaissée par une dose absorbée de 0,25 Gy (rayonnements de faible TLE) administrée à un débit de dose élevé, la dose absorbée nécessaire pour produire une stérilité permanente est au moins d'un ordre de grandeur plus élevée.

(43) Les gonades sont les tissus dans lesquels se produisent les mutations de gènes et les modifications chromosomiques radio-induites entraînant des tares héréditaires. Des observations, faites essentiellement sur de petits mammifères et des organismes inférieurs, ont fourni des données sur les fréquences des modifications héréditaires résultant d'une irradiation ; des observations sur l'homme ont permis d'avoir une indication sur les fréquences des diverses affections héréditaires et partiellement héréditaires survenant naturellement, qui pourraient être affectées. L'importance de l'augmentation de ces affections avec un accroissement donné du taux de mutation n'a, le plus souvent, pu être directement mise en évidence pour aucun organisme. On pense que la fréquence des affections dominantes, des affections liées au sexe et de certaines affections chromosomiques augmenterait de manière directement proportionnelle à la dose. La fréquence des affections "transmises de manière irrégulière", plus courantes, subirait une augmentation moindre, en particulier dans les deux premières générations. Dans le cadre du présent rapport, on a estimé qu'en cas d'exposition uniforme de l'organisme entier, le détriment héréditaire serait probablement inférieur au détriment résultant de l'atteinte somatique des individus irradiés. On admet que le risque d'affection héréditaire grave dans les deux premières générations suivant l'irradiation de l'un ou l'autre des parents est d'environ 10^{-2} Sv^{-1} et que le dommage supplémentaire pour les générations ultérieures est du même ordre de grandeur. Le facteur de risque pour les besoins de la protection contre les rayonnements est donné au paragraphe 60.

Moelle osseuse rouge

(44) La moelle osseuse rouge est considérée comme étant le principal tissu en cause dans l'induction de leucémies par les rayonnements : on pense que les autres tissus sanguiformateurs jouent un rôle mineur dans la leucémogenèse. Les observations faites sur des êtres humains irradiés à des fins thérapeutiques ou sur les survivants japonais des explosions nucléaires montrent que la fréquence des cas de leucémie radio-induite passe par un maximum quelques années après l'irradiation et retourne aux niveaux d'avant l'irradiation au bout d'environ 25 ans. Pour les

besoins de la protection contre les rayonnements, on a pris pour la leucémie un facteur de risque de 2.10^{-3} Sv^{-1}.

(45) On admet que chez l'adulte les cellules hématopoiétiques sont distribuées au hasard à travers toute la moelle hématopoiétique qui se trouve dans l'os trabéculaire (voir *Publication CIPR 11*). L'équivalent de dose au niveau de ces cellules est donc calculé en faisant la moyenne sur l'ensemble du tissu qui remplit les cavités contenues dans l'os trabéculaire.

(46) Des expériences faites sur des animaux ont montré qu'une dose absorbée de 20 Gy (rayonnement gamma) étalée sur toute la vie n'altérerait pas la fonction hématopoiétique de la moelle osseuse rouge. Pour l'homme, il ne semble pas que l'atteinte de la fonction de la moelle osseuse rouge puisse être un effet limitatif, à condition que les limites de dose non-stochastiques pour les travailleurs soient fixées aux niveaux recommandés au paragraphe 103.

Os

(47) Pour l'os, on a constaté que ce sont les cellules endostéales et les cellules épithéliales à la surface de l'os qui constituent les cellules radiosensibles (voir *Publication CIPR 11*). La Commission recommande que, chaque fois que possible, l'équivalent de dose relatif à l'os soit évalué au niveau des cellules endostéales et des cellules à la surface de l'os et calculé en faisant la moyenne sur le tissu jusqu'à une distance de 10 µm à partir de la surface correspondante de l'os.

(48) De l'examen, fait par la Commission, des données sur la radiosensibilité de l'os pour le développement d'un cancer radio-induit, il ressort que, par unité d'équivalent de dose, l'os est beaucoup moins sensible que le sein, la moelle osseuse rouge, le poumon et la thyroïde. Pour les besoins de la protection contre les rayonnements, on a pris pour le cancer osseux un facteur de risque de 5.10^{-4} Sv^{-1}.

Poumon

(49) Le cancer du poumon a été observé chez des mineurs exposés à des concentrations élevées de radon et de ses produits de filiation. Il est difficile de faire, pour les mineurs, une estimation quantitative du risque en termes de dose en raison des variations importantes des évaluations faites pour la dose par unité d'activité volumique dans l'air. Cependant, grâce aux données épidémiologiques, on peut fixer des limites qui tiennent compte à la fois de la concentration des produits de filiation du radon dans l'air et de la durée de séjour dans cet air, de manière à assurer un niveau de protection suffisant. Cette question sera traitée plus en détail dans le rapport que prépare actuellement le groupe de travail du Comité 2 sur le radon, le thoron et leurs produits de filiation.

(50) Il n'a pas été signalé de cancer du poumon qui puisse être nette-

ment attribué à une exposition aux rayonnements chez les personnes qui ont travaillé avec des substances radioactives sous forme particulaire, comme le plutonium, bien que certaines d'entre elles aient été exposées au-delà des limites actuelles. Comme il a déjà été indiqué au paragraphe 33, la Commission pense que le risque dû aux substances qui se trouvent dans le poumon sous forme particulaire est sans doute inférieur au risque que présentent ces mêmes substances lorsqu'elles sont distribuées uniformément à travers tout le poumon.

(51) Il a été prouvé que, chez l'homme, le cancer du poumon pouvait être induit également par irradiation externe. Actuellement, tout porte à croire que le risque de cancer du poumon est à peu près égal à celui de l'apparition d'une leucémie ; il est possible que cette estimation devra être modifiée lorsqu'on disposera d'autres données sur le développement en fonction du temps d'un cancer du poumon après irradiation. Pour les besoins de la protection contre les rayonnements, on a pris pour le cancer du poumon un facteur de risque de 2.10^{-3} Sv^{-1}.

Tissu lymphoïde pulmonaire (52). La rétention des particules inhalées contenant des composés insolubles dans les ganglions lymphatiques bronchopulmonaires constitue un cas particulier d'une certaine importance. Les ganglions bronchopulmonaires représentent, en effet, environ 1 % de l'ensemble du tissu lymphoïde de l'organisme. L'irradiation sélective de ces ganglions peut être assimilée à une irradiation extrêmement hétérogène de l'ensemble du tissu lymphoïde et on peut penser que, de ce fait, elle entraîne probablement un danger moindre que si l'activité ainsi retenue était distribuée uniformément à travers toute la masse du tissu lymphoïde. Pour les lymphocytes, cependant, l'hétérogénéité de l'irradiation est moins marquée, puisque les lymphocytes circulent normalement à travers les ganglions lymphatiques de l'organisme.

(53) Des données d'autopsie obtenues sur des hommes qui avaient antérieurement inhalé du plutonium sous forme particulaire montrent que la concentration moyenne en plutonium,évaluée sur la masse totale de l'ensemble du tissu lymphoïde,peut être nettement inférieure à sa concentration moyenne dans les tissus pulmonaires. Comme on considère généralement que le poumon a une sensibilité plus élevée que le tissu lymphoïde, on est conduit à admettre que l'irradiation du poumon est probablement plus limitative que celle du tissu lymphoïde lorsqu'il s'agit de déterminer la limite de dose pour l'inhalation de substances radioactives insolubles sous forme particulaire.

(54) La Commission pense donc que, pour les besoins de la protection contre les rayonnements, on pourra considérer, chez l'adulte, la trachée, les bronches, la région pulmonaire et les ganglions lymphatiques du poumon comme un seul organe composite ayant une masse de 1 kg et appliquer à cet organe la limite de dose fixée pour le poumon.

Thyroïde

(55) Dans la glande thyroïde, il semble que les cellules sensibles soient les cellules épithéliales des follicules thyroïdiens, et c'est

pour elles que devra être fait le calcul de dose. Dans la plupart des cas, la dose moyenne reçue par l'ensemble de la glande sera sensiblement égale à la dose reçue par ces cellules.

(56) La thyroïde paraît plus sensible à l'*induction* d'un cancer par les rayonnements que la moelle osseuse rouge au développement d'une leucémie. Toutefois, la *mortalité* due aux cancers de la thyroïde est beaucoup plus faible que celle due aux leucémies, essentiellement à cause des succès obtenus dans le traitement des cancers de la thyroïde et de l'évolution lente de ce type de tumeur. On considère que le facteur global pour le risque de décès est égal au quart environ de celui admis pour la moelle osseuse rouge ; pour les besoins de la protection contre les rayonnements, on a pris un facteur de risque de 5.10^{-4} Sv^{-1}.

Sein

(57) Les données obtenues sur l'apparition du cancer du sein chez des femmes ayant subi une irradiation, suggèrent que, le sein de la femme en état de procréer peut être l'un des tissus les plus radio-sensibles de l'organisme humain. Certains indices permettent de penser que, dans ces conditions, le facteur de risque relatif au cancer du sein peut être plusieurs fois plus élevé que celui correspondant à la leucémie. Pour les besoins de la protection contre les rayonnements, on a pris un facteur de risque de $2,5.10^{-3}$ Sv^{-1} (voir également paragraphe 38).

Risque de cancer dans tous les autres tissus

(58) A côté des tissus étudiés ci-dessus, pour lesquels on a pu estimer de façon approximative la fréquence d'induction d'affections malignes par des doses de rayonnement modérées, il existe également d'autres tissus (comme, par exemple, l'estomac, le gros intestin inférieur, les glandes salivaires et probablement le foie) pour lesquels certaines données tendent à prouver que les rayonnements ont un effet carcinogène à dose modérée. Cependant, pour le moment, il n'est pas encore possible de faire, pour ces tissus, une estimation du facteur de risque, bien que celui-ci soit probablement faible. Pour d'autres tissus, tels que le muscle et le tissu adipeux, peu d'indices ont été obtenus sur une quelconque induction de tumeurs aux doses modérées.

(59) Dans une certaine mesure, on peut, cependant, estimer le nombre total de toutes les affections malignes qui peuvent être induites par rapport au risque des leucémies induites dans les mêmes conditions d'irradiation. D'après ces données, il paraît probable que la majorité des affections malignes induites apparaissent dans les tissus pour lesquels une estimation approximative du risque a pû être faite. Compte tenu de ce fait, on estime peu probable que le risque combiné d'affections malignes dans tous les autres tissus indistinctement dépasse 5.10^{-3} Sv^{-1} et on admet en outre qu'aucun de ces tissus ne contribue pour plus de un cinquième à cette valeur.

Risque stochastique total dû à une irradiation uniforme de l'organisme entier

(60) En conclusion, la Commission estime que, pour la protection contre les rayonnements des *individus*, le facteur de risque de décès par cancer radio-induit est de l'ordre de 10^{-2} Sv^{-1}, en moyenne pour les deux sexes et pour tous les âges. Le facteur de risque moyen pour les effets héréditaires qui se manifestent dans les deux premières générations, sera nettement inférieur à cette valeur, si l'on tient compte de la proportion des expositions susceptibles d'avoir un effet significatif du point de vue génétique, et l'on peut admettre qu'il est environ 4.10^{-3} Sv^{-1}. Pour le facteur de risque somatique comme pour le facteur de risque héréditaire, les estimations seront quelque peu différentes selon qu'il s'agira des travailleurs ou des membres du public en général, en raison de la différence des structures en âge de ces deux populations. Toutefois, par rapport au risque total, ces différences ne sont pas suffisamment importantes pour justifier l'utilisation de valeurs distinctes aux fins de la protection dans l'un et l'autre cas. Cependant, lorsqu'il s'agit d'évaluer le *détriment total* dû aux rayonnements qui résulte pour une population d'une exposition donnée, il faut également tenir compte du risque total de dommage héréditaire qui pourra se manifester dans toutes les générations qui suivront. On considère que ce risque, par unité de dose, est égal à environ deux fois celui qui se manifeste uniquement dans les deux premières générations.

Cristallin

(61) Lorsque l'exposition du cristallin à des rayonnements de TLE faible ou élevé est étalée sur toute la vie professionnelle, on peut admettre qu'un équivalent de dose total de 15 Sv serait inférieur au seuil de production d'une quelconque opacification du cristallin qui influerait sur la vision. En conséquence, la Commission recommande que dans le cas des travailleurs exposés aux rayonnements, la limite annuelle d'équivalent de dose pour le cristallin soit déduite de la valeur mentionnée ci-dessus pour l'équivalent de dose reçu pendant la durée de la vie professionnelle (voir paragraphe 103).

(62) Chez l'adulte, c'est la partie équatoriale de l'épithélium antérieur du cristallin qui est généralement considérée comme étant la région anatomique la plus prédisposée à l'induction d'opacités dans le cristallin. Pour les besoins de la protection contre les rayonnements, on peut admettre que l'équateur du cristallin se trouve à 3 mm en arrière de la surface de l'oeil.

Peau

(63) Comparée aux tissus déjà étudiés, la peau semble être beaucoup moins sujette au développement d'un cancer fatal après irradiation. Cependant, des modifications inacceptables du point de vue esthétique peuvent se produire dans la peau à la suite d'irradiations entraînant des doses absorbées de 20 Gy ou plus, administrées en plusieurs semaines

ou plusieurs mois à des portions limitées de la peau. L'utilisation de cette valeur comme limite pour l'exposition reçue au cours de toute la vie professionnelle devrait donc prévenir l'apparition de modifications non-stochastiques de ce genre (voir également paragraphe 103).

(64) L'épaisseur de la peau varie considérablement d'une partie du corps à l'autre. La couche basale des cellules de l'épiderme est considérée comme étant le tissu de la peau courant le plus grand risque. En raison des ondulations de la couche cellulaire basale et de l'épaisseur limitée de ses cellules, il convient de prendre un intervalle de 50 - 100 µm (ou 5 - 10 mg cm^{-2}) comme profondeur caractéristique de la couche sensible de la plupart des régions de la peau qui habituellement ne sont pas protégées par des vêtements et sont de ce fait exposées directement aux rayonnements. En pratique, pour les calculs de dose, la Commission recommande d'utiliser une profondeur de 70 µm qui paraît une valeur moyenne raisonnable.

Enfants et foetus

(65) L'exposition avant la naissance ou au cours de l'enfance peut gêner la croissance et le développement ultérieurs, en fonction de facteurs tels que la dose et l'âge au moment de l'irradiation. Il semble également que la prédisposition à l'induction de certaines affections malignes soit plus élevée au cours de la période prénatale et de l'enfance que dans l'âge adulte.

Tissus de faible sensibilité

(66) Il est maintenant établi que, pour divers tissus, le développement d'une affection maligne à la suite d'une irradiation semble être très rare, ce fait est prouvé par les enquêtes épidémiologiques qui, jusqu'à présent n'ont pas mis en évidence de taux excessifs d'affections malignes dans les tissus en question. Pour de tels tissus, la limitation de dose est fondée sur la possibilité de modifications vasculaires ou d'autres transformations nuisibles à la santé. Il y a peut-être aussi certains tissus, par exemple ceux contenant des cellules sans noyau, dont on peut négliger l'irradiation pour les besoins de la protection contre les rayonnements.

Autres effets

(67) Mis à part les effets spécifiques déjà énoncés, il n'existe pas de signes évidents d'une altération de la fonction des organes et tissus aux niveaux de dose habituellement rencontrés dans le travail sous rayonnements. La mise en évidence d'un raccourcissement de la vie qui serait dû à des effets autres que l'induction de tumeurs n'est pas concluante et ne peut pas être utilisée sur le plan quantitatif. D'autre part, d'après les données obtenues sur des populations fortement irradiées, observées pendant des périodes allant jusqu'à 30 ans, il semble peu probable qu'on ait laissé échapper un risque relativement important qui serait dû à l'irradiation aux niveaux recommandés.

E. LE SYSTEME DE LIMITATION DES DOSES

(68) Pour atteindre les objectifs énumérés au paragraphe 12, la Commission recommande un système de limitation des doses qui vise essentiellement à garantir qu'aucune source d'exposition ne soit injustifiée par rapport à ses avantages ou à ceux de toute autre pratique utilisable dans le même but, que toute exposition nécessaire soit maintenue à la valeur la plus faible qu'on peut raisonnablement atteindre et que les équivalents de dose reçus ne dépassent pas des limites déterminées tout en prévoyant une certaine marge pour les développements futurs. Ces différents points sont étudiés plus en détail dans les paragraphes ci-dessous.

(69) L'idéal serait que la possibilité d'accepter une proposition d'opération ou de pratique entraînant une exposition aux rayonnements soit déterminée par une analyse coût-avantage, permettant de s'assurer que le détriment total sera suffisamment faible par rapport aux avantages résultant de la mise en oeuvre de l'activité proposée. Des comparaisons entre pratiques devraient être faites après avoir appliqué le procédé d'optimisation (voir paragraphes 72 - 76). Le choix entre différentes pratiques dépendra d'un grand nombre de facteurs dont quelques-uns seront liés à la protection contre les rayonnements. C'est pourquoi, dans le présent rapport, on n'examinera pas davantage la comparaison des pratiques. L'optimisation, par contre, devrait jouer un rôle majeur dans l'application pratique de la protection contre les rayonnements ; elle est étudiée plus en détail dans les paragraphes qui suivent.

(70) Dans l'analyse coût-avantages, on entend par avantages l'ensemble des avantages recueillis par la société et non seulement ceux qui profitent à des individus ou groupes d'individus déterminés. Dans certains cas, les avantages peuvent être évalués quantitativement, mais lorsqu'ils contribuent à la satisfaction des désirs de l'homme, la détermination quantitative peut s'avérer difficile. On considère d'autre part que le coût comprend la somme totale de tous les aspects négatifs d'une opération, notamment les charges monétaires et toute atteinte à la santé de l'homme ou à l'environnement. Toutefois, comme avantages et coûts ne seront pas distribués de la même façon à travers la population, cette méthode approximative de mise en balance ne se justifierait que si le détriment pour chaque individu ne dépassait pas un niveau acceptable. En appliquant cette méthode au cas des rayonnements ionisants, la limitation du détriment pour l'individu sera réalisée par le respect des limites d'équivalent de dose recommandées par la Commission.

(71) Il peut donc être nécessaire de porter des jugements de valeur subjectifs pour comparer l'importance relative du coût qu'une exposition aux rayonnements implique pour la santé de l'homme avec d'autres facteurs économiques et sociaux. De ce point de vue, les rayonnements ne constituent pas un cas unique et la même constatation pourrait être faite pour un grand nombre d'autres agents auxquels l'humanité est exposée.

Principes permettant de décider ce qui peut être raisonnablement réalisé du point de vue de la réduction des doses

(72) Un grand nombre de facteurs énumérés dans les précédents paragraphes ne seront pas indispensables pour décider ce qui peut être raisonnablement obtenu comme réduction des doses au-dessous des limites recommandées. Dans ce cas, la question qui se pose est de savoir si oui ou non l'activité en question est exécutée à un niveau d'équivalent de dose collectif (et par conséquent, en général, de détriment) suffisamment bas pour que toute réduction supplémentaire de la dose ne justifie pas l'augmentation de coût nécessaire pour la réaliser. Lorsqu'on fait cette détermination, l'analyse coût-avantages passe de la considération du bénéfice *total* de l'activité à la *variation* de bénéfice net qu'impliquerait l'obligation d'exercer cette activité à un niveau de dose plutôt qu'à un autre.

(73) Le bénéfice net, B, retiré d'un produit ou d'une opération entraînant une irradiation peut être considéré comme égal à la différence entre le bénéfice brut, V, et la somme de trois composantes : le coût de production de base, P, le coût de l'obtention d'un niveau déterminé de protection, X, et le coût, Y, du détriment entraîné par cette opération ou par la fabrication, l'utilisation et l'élimination de ce produit, de telle sorte que :

$$B = V - (P + X + Y)$$

On entend ici par coût aussi bien les coûts sociaux que les coûts purement économiques.

(74) Pour déterminer si une réduction de l'exposition peut être "raisonnablement réalisée", il faut considérer d'une part l'augmentation des avantages résultant d'une telle réduction et d'autre part l'augmentation de coût qu'implique sa réalisation. Dans l'analyse différentielle coût-avantages, destinée à maximiser le bénéfice net, la variable indépendante est représentée par l'équivalent de dose collectif, S, résultant de la pratique considérée. Le bénéfice net sera optimal lorsque

$$\frac{dV}{dS} - \left(\frac{dP}{dS} + \frac{dX}{dS} + \frac{dY}{dS}\right) = 0$$

Comme pour une pratique donnée, V et P peuvent être considérés comme constants pour une valeur donnée de S, il en résulte que la condition d'optimisation est satisfaite pour une valeur S^{*} telle que l'augmentation de coût de la protection par unité d'équivalent de dose compense la réduction de détriment par unité d'équivalent de dose, c'est-à-dire lorsque

$$\left(\frac{dX}{dS}\right)_{S^{*}} = -\left(\frac{dY}{dS}\right)_{S^{*}}$$

Cependant, d'autres composantes du détriment dû aux rayonnements, telles que les restrictions à l'accès ou à l'utilisation de certaines zones, ne seront généralement pas liées à l'équivalent de dose collectif ; dans certains cas, elles pourront dépendre de la valeur la plus élevée de l'équivalent de dose dans le groupe exposé.

(75) Les évaluations faites sur la base de l'équation ci-dessus seront facilitées si l'on assigne une valeur monétaire à l'unité d'équivalent de dose collectif. Bien que, dans la pratique, il soit très difficile de quantifier même quelques-unes seulement des composantes du détriment, plusieurs estimations du coût-équivalent d'un homme-sievert ont été publiées et, en dépit de toutes leurs limitations, elles fournissent des données quantitatives qu'il est possible d'utiliser dans le processus de prise de décisions (voir *Publication CIPR 22*).

(76) L'application des procédés décrits dans les paragraphes précédents ne garantit pas toujours une protection suffisante de l'individu, en particulier lorsque les avantages et les coûts ne sont pas distribués de façon identique dans la population. Dans le cas d'une pratique donnée, les limites fixées pour l'équivalent de dose individuel doivent toujours être respectées, quel que soit le résultat de l'analyse différentielle coût-avantages. Si, du fait de l'utilisation de l'équivalent de dose collectif optimal, un individu quelconque devait dépasser une limite appropriée à son cas, il serait nécessaire de ramener l'équivalent de dose collectif à un niveau tel que les limites d'équivalent de dose soient respectées.

Limites d'équivalent de dose - Généralités

(77) Les limites d'équivalent de dose précédemment recommandées par la Commission sont restées en vigueur pendant plus de 20 ans. Elles ont été largement utilisées au plan international et ont été incorporées dans les législations d'un grand nombre de pays et de régions. D'autre part, aucun fait probant n'indique que le système de limitation des doses recommandé par la Commission a failli à son objectif en ne garantissant pas un niveau de sécurité satisfaisant. La Commission pense cependant qu'il convient de revoir ses limites d'équivalent de dose à la lumière des connaissances actuelles afin de déterminer si une modification de leur niveau s'impose. Les limites d'équivalent de dose recommandées par la Commission sont traitées aux paragraphes 103 - 108.

(78) Rares sont les expositions de l'organisme qui n'entraînent pas l'irradiation de plus d'un tissu. C'est pourquoi, compte tenu des raisons exposées au paragraphe 36, la Commission estime que, pour les effets stochastiques, il convient de recommander une limite d'équivalent de dose fondée sur le risque total dû à l'irradiation de tous les tissus exposés. Cette doctrine implique la fixation d'une seule limite d'équivalent de dose pour l'irradiation uniforme de l'organisme entier (voir paragraphes 104 et 119) et un système conçu de telle manière que le risque total dû à une irradiation partielle de l'organisme ne dépasse pas celui qui résulterait de l'irradiation uniforme de l'organisme entier (voir paragraphes 104, 105 et 125). De plus, ce système est soumis à une autre contrainte : pour prévenir l'apparition d'un dommage non-stochastique aucun tissu ne devrait recevoir un équivalent de dose supérieur à une limite déterminée (voir paragraphes 103 et 126). Théoriquement, les recommandations de la Commission devraient être conçues de telle manière que le détriment dû à une année de pratique soit limité à une certaine valeur, indépendante de la distribution de l'équivalent de dose dans

l'organisme.

(79) L'intention de la Commission en fixant les limites de dose pour les travailleurs est qu'elles soient appliquées à la somme de l'équivalent de dose résultant de l'irradiation externe subie pendant une année et de l'équivalent de dose engagé résultant de l'incorporation de radionucléides au cours de la même année. Dans la plupart des cas d'irradiation externe et lors de l'incorporation de radionucléides à période courte, l'équivalent de dose engagé résultant d'une année de pratique sera reçu soit instantanément, soit en un laps de temps court, et devrait donc respecter la limite fixée pour l'année en question. Toutefois, l'équivalent de dose engagé résultant de l'incorporation en 1 an d'un radionucléide à période longue correspond à des équivalents de dose qui seront reçus au cours d'une période assez longue, parfois même un grand nombre d'années, après l'année considérée. En principe, il résulte de l'application du concept d'engagement d'équivalent de dose que l'équivalent de dose reçu en un an peut dépasser la limite annuelle (c'est le cas, par exemple, lorsque l'incorporation d'une substance à période effective longue, au cours d'une année donnée est suivie, l'année d'après, par une incorporation égale à la LAI* d'une substance à période effective courte). En pratique, de telles situations seront rares et en un an l'équivalent de dose ne dépassera, en général, que peu la limite annuelle. Les limites d'équivalent de dose pour les personnes du public ont été fixées sur la base des mêmes principes.

(80) La Commission considère que, lors de l'établissement de la limite d'équivalent de dose pour l'individu, l'évaluation des risques devrait être faite en ajoutant le détriment héréditaire concernant la descendance immédiate d'un individu (c'est-à-dire les deux premières générations après l'irradiation) à l'ensemble des détriments somatiques induits par les rayonnements. Actuellement, tout porte à croire qu'une partie importante du dommage héréditaire total apparaît dans ces deux premières générations de la descendance d'un individu. Le dommage qui sera subi par toutes les générations ultérieures devra cependant être pris en considération dans toute évaluation des effets héréditaires totaux. On admet généralement que la phase reproductive de la vie des travailleurs exposés aux rayonnements correspond approximativement au tiers de leur carrière professionnelle ; aussi, la Commission a-t-elle tenu compte de ce paramètre lorsqu'elle a calculé les facteurs de pondération indiqués au paragraphe 105.

(81) Dans ses recommandations, la Commission fait une distinction entre deux cas d'exposition qui sont traités de manière tout à fait différente :

(i) celui où l'exposition est un événement prévu et où elle peut être limitée en importance par contrôle de la source et par l'application du système de limitation des doses de la Commission, y compris par la mise en oeuvre de techniques d'exploitation satisfaisantes ;
(ii) celui où la source d'exposition a échappé au contrôle, si bien que

---

* Limite annuelle d'incorporation.

toute exposition consécutive ne peut être limitée en importance, si toutefois elle peut l'être, que par des mesures correctives.

Lorsqu'une source d'exposition est sous contrôle, on peut appliquer le système de limitation des doses de la Commission (voir paragraphe 12). Une fois le système établi, on devrait avoir pour objectif de concevoir l'utilisation des sources de rayonnement de telle sorte que, en fonctionnement normal, le système ne soit pas enfreint. De plus, les limites d'équivalent de dose jouent un rôle critique puisqu'elles permettent de vérifier que les méthodes de travail utilisées auprès de la source d'exposition sont correctes et bien adaptées. Il ne faudrait pas considérer les limites d'équivalent de dose comme une ligne de démarcation entre danger et sécurité ; lorsque les limites ont été légèrement dépassées, le fait qu'il y ait eu un défaut de contrôle de la source est, en général, plus important que le faible dépassement d'une certaine dose convenue par un ou plusieurs individus.

(82) Dans un grand nombre de cas que l'on rencontre en pratique, il sera commode d'utiliser une limite dérivée, calculée à l'aide d'un modèle, laquelle correspond à une relation quantitative entre le résultat d'une mesure déterminée et la limite d'équivalent de dose ou d'incorporation recommandée (voir également paragraphes 140 et suivants). En établissant une telle limite, on devrait chercher à fixer sa valeur numérique à un niveau tel que si celui-ci était respecté on ait la certitude virtuelle de se conformer aux limites d'équivalent de dose recommandées par la Commission. Cependant, la non-observation de la limite dérivée ne signifiera pas nécessairement que les recommandations de la Commission ne sont pas respectées, mais une étude plus approfondie des circonstances peut être nécessaire. Ce sujet est traité plus en détail au chapitre F.

(83) Les recommandations de la Commission sont destinées à limiter les effets somatiques chez l'individu irradié, les effets héréditaires dans sa descendance immédiate, ainsi que les effets héréditaires et somatiques dans l'ensemble de la population. Aussi, est-il nécessaire de considérer aussi bien l'exposition des individus que celle des populations. Les limites de dose recommandées par la Commission s'appliquent à deux types d'exposition, qui sont l'exposition professionnelle et l'exposition du public (voir paragraphe 137). Dans tout organe ou tissu, la limitation de l'équivalent de dose concernera la somme des équivalents de dose annuels dus aux sources externes et des équivalents de dose engagés dus aux substances radioactives incorporées au cours d'une année de pratique. Par rapport aux limites d'équivalent de dose, l'équivalent de dose à considérer ne devra pas inclure les contributions provenant des actes médicaux ou de l'irradiation naturelle "normale" (voir également paragraphes 87 - 93).

(84) Les limites d'équivalent de dose établies pour l'exposition professionnelle sont considérées comme des limites supérieures et il peut être nécessaire d'exercer une surveillance et un contrôle individuels sur les équivalents de dose pour s'assurer que les limites ne sont pas dépassées. Dans le cas des personnes du public, la limitation de l'équivalent de dose est un concept plus théorique devant permettre de s'assurer que les sources de rayonnement sont conçues et exploitées de manière

telle que les individus du public aient peu de chances de recevoir un équivalent de dose supérieur à une valeur déterminée. La réalité de cet état de fait est vérifiée par des évaluations fondées sur des méthodes d'échantillonnage et des calculs statistiques, ainsi que par le contrôle exercé sur les sources que l'on pense pouvoir être à l'origine des expositions, et c'est seulement rarement que l'on fera des vérifications ponctuelles des expositions individuelles.

(85) La limitation des expositions individuelles, qu'il s'agisse de travailleurs ou de membres du public, est fondée sur la limite de l'équivalent de dose moyen pondéré au niveau de l'organisme entier (voir paragraphe 104) et non sur les limites dérivées ou sur les niveaux dérivés qui constituent un moyen pour contrôler la dose. Les doses effectivement reçues par les individus varieront en fonction de facteurs tels que les différences d'âge, de taille, de métabolisme et d'habitudes de vie, ainsi que de variations dans leur environnement. Lorsqu'il s'agit d'un individu professionnellement exposé, il suffira souvent d'utiliser des limites et niveaux dérivés pour faire le bilan de son exposition. Lorsqu'il s'agit de l'exposition de personnes du public, il est habituellement possible de tenir compte de ces sources de variabilité en sélectionnant des groupes critiques appropriés au sein de la population, à condition toutefois que chaque groupe critique soit suffisamment petit pour être relativement homogène en ce qui concerne l'âge, le régime alimentaire et les différents aspects du comportement qui influent sur les doses reçues. Un tel groupe devrait être représentatif des individus de la population dont on présume qu'ils recevront l'équivalent de dose le plus élevé et la Commission pense qu'il sera raisonnable d'appliquer la limite d'équivalent de dose appropriée fixée pour les personnes du public considérées individuellement à l'équivalent de dose moyen pondéré de ce groupe. En raison des différences innées qui existent dans un groupe apparemment homogène, quelques membres du groupe critique recevront en fait des équivalents de dose légèrement plus élevés que la moyenne. Toutefois, étant donné les hypothèses maximisantes utilisées, l'équivalent de dose effectivement reçu sera en général inférieur à l'équivalent de dose calculé (voir également chapitre G).

(86) Avant d'étudier la limitation des doses dans différentes conditions d'exposition, il faut examiner tout d'abord la relation qui existe entre les limites d'équivalent de dose recommandées par la Commission et l'exposition due au fond de rayonnement naturel ou à celle reçue par les patients du fait des actes médicaux.

Irradiation naturelle et limites d'équivalent de dose

(87) L'homme a toujours été exposé aux rayonnements provenant de son environnement naturel ; les rayons cosmiques, la radioactivité contenue dans les roches et le sol, et les nucléides radioactifs incorporés dans les tissus de l'organisme humain constituent les sources fondamentales de l'irradiation naturelle. La dose de rayonnement naturel reçue par une personne dépend d'un certain nombre de facteurs tels que l'altitude au-dessus du niveau de la mer à laquelle elle vit, la quantité et le type de nucléides radioactifs contenus dans le sol aux alentours et la quanti-

té qu'elle en incorpore par l'intermédiaire de l'air, de l'eau et des aliments. Le débit de dose absorbée total produit par l'irradiation naturelle dans la plupart des tissus de l'organisme humain est d'environ un millième de gray par an, mais des débits de dose absorbée atteignant un centième de gray par an ou même plus ont été signalés dans certaines régions du monde bien délimitées.

(88) Des modifications artificielles de l'environnement et certaines activités humaines peuvent accroître l'exposition "normale" au fond de rayonnement naturel. L'exploitation des mines, les vols à haute altitude et l'utilisation de matériaux de construction contenant des radionucléides existant dans la nature en constituent des exemples. Le simple fait de vivre dans une maison est souvent suffisant pour accroître l'exposition aux rayonnements parce que la ventilation réduite tend à entraîner une accumulation de gaz radioactifs et de leurs produits de filiation.

(89) Du point de vue de la protection contre les rayonnements, la Commission a considéré que les limites d'équivalent de dose recommandées ne devaient ni s'appliquer aux niveaux "normaux" d'irradiation naturelle, ni les inclure, mais concerner seulement les composantes de l'irradiation naturelle qui résultent des activités exercées par l'homme ou de certains environnements particuliers. Cette convention, qui est valable dans l'hypothèse d'une relation linéaire (voir paragraphes 27 - 30), est justifiée en ce sens que les limites recommandées par la Commission s'appliquent essentiellement aux techniques mises en oeuvre par l'homme. Toutefois il est évident qu'il n'existe pas de ligne de démarcation nette entre les niveaux d'irradiation naturelle qui peuvent être considérés comme "normaux" et ceux qui sont plus élevés en raison des activités humaines ou de l'environnement choisi. C'est pourquoi, dans certains cas, il faudra faire preuve de discernement pour décider si la composante ainsi accrue de l'irradiation naturelle devrait ou non être soumise au système de limitation des doses recommandé par la Commission.

(90) Il faut souligner, d'autre part, qu'en admettant l'existence d'une relation linéaire entre la fréquence des effets dus aux rayonnements et la dose reçue, un dommage comme celui qui peut être produit par l'irradiation naturelle pourrait être considéré comme indépendant de l'importance des dommages qui peuvent être produits par toute activité humaine entraînant une exposition aux rayonnements soumise aux limites de la Commission et, par conséquent, comme simplement additif. Ainsi, on considère que les variations régionales de l'irradiation naturelle impliquent une variation correspondante du détriment exactement de la même manière, par exemple, que les variations régionales des conditions météorologiques ou de l'activité volcanique entraînent pour les différentes zones des risques de dommage qui sont différents. Compte tenu de ce qui précède, il n'y a aucune raison pour que des différences dans l'irradiation naturelle influent sur les niveaux acceptables des expositions provenant des activités humaines, pas plus que ne devraient le faire les différences inhérentes à d'autres risques naturels.

Exposition médicale des patients et limites d'équivalent de dose

(91) Dans les présentes recommandations, l'expression "exposition médicale" désigne l'exposition intentionnelle de patients à des fins diagnostiques et thérapeutiques, ainsi que les expositions dues au remplacement de certains organes ou fonctions de l'organisme par des prothèses (pompes et stimulateurs cardiaques, par exemple). Elle s'applique aux expositions administrées par du personnel médical et paramédical. Elle ne s'applique pas à l'irradiation du personnel qui participe à l'administration des expositions médicales aux patients, ni à l'irradiation d'un patient par un autre.

(92) L'exposition médicale est, en général, soumise à la plupart des conditions du système de limitation des doses de la Commission, autrement dit : les expositions non indispensables devraient être évitées ; les expositions nécessaires devraient être justifiées par des avantages qui ne peuvent être obtenus d'une autre manière ; et les doses effectivement administrées devraient être limitées à la valeur minimale compatible avec le bénéfice médical que le patient lui-même peut en tirer. L'individu qui subit l'exposition est lui-même le bénéficiaire direct des avantages résultant du procédé utilisé. C'est pourquoi, il ne convient pas d'appliquer aux expositions médicales les valeurs numériques des limites d'équivalent de dose recommandées par la Commission. Pour certaines expositions médicales, le bénéfice obtenu peut, en effet, justifier un niveau de risque bien plus élevé que celui que la Commission juge approprié pour l'exposition professionnelle ou pour l'exposition des personnes du public.

(93) Au paragraphe 89, il a déjà été indiqué que les limites d'équivalent de dose recommandées par la Commission se rapportent à la composante du risque qui résulte d'une pratique déterminée relevant du domaine de la protection contre les rayonnements. Dans l'hypothèse d'une relation linéaire, le risque dû à une pratique de ce genre n'est pas affecté par les risques provenant d'autres sources et c'est pourquoi il est justifié de considérer séparément les doses reçues du fait de ces pratiques et les doses résultant de l'exposition médicale. Compte tenu des considérations développées au paragraphe 92, la Commission estime que les doses de rayonnement résultant des expositions médicales ne devraient interférer avec aucune des méthodes de limitation des doses appliquées aux expositions provenant d'autres sources. Toutefois, dans le cas exceptionnel où des travailleurs ont subi un radiodiagnostic ou une radiothérapie comportant une irradiation importante d'une partie de l'organisme et font un travail entraînant une exposition importante des mêmes organes, comme il existe une possibilité d'apparition d'effets non-stochastiques, il conviendrait que dans ce cas la situation professionnelle soit revue par l'autorité médicale compétente.

Conséquences pour les effets non-stochastiques

(94) Comme il a déjà été indiqué, les limites d'équivalent de dose recommandées par la Commission pour limiter les effets *stochastiques* ne s'appliquent pas aux contributions provenant de sources de rayonnement

naturellesou de l'exposition médicale. Cependant, la question des effets non-stochastiques mérite d'être considérée.

(95) Lorsque l'exposition est limitée compte tenu des effets stochastiques, il est peu probable que l'addition des expositions professionnelles et des expositions médicales ou de l'irradiation naturelle normale entraîne un équivalent de dose total dont la valeur serait proche du seuil d'un effet non-stochastique dommageable. Bien que, pour évaluer la probabilité d'apparition d'un dommage non-stochastique, il faille en principe déterminer l'équivalent de dose en faisant la somme des contributions dues à *toutes* les sources (c'est-à-dire également de sources médicales et du fond de rayonnement naturel normal), la Commission pense qu'il n'est pas nécessaire de le faire en pratique. Les sources de rayonnement naturelles ne pourraient, semble-t-il, entraîner de doses élevées que dans les conditions spéciales mentionnées au paragraphe 89 ; de toute façon, ces doses devraient alors être comprises dans les limites d'équivalent de dose, dans la mesure où les expositions ainsi accrues sont contrôlables par l'homme. Dans le cas des expositions médicales élevées (par exemple en radiothérapie), les doses dues à ces expositions deviendraient prédominantes et la prise en considération d'éventuels risques d'effets non-stochastiques (au niveau du cristallin, par exemple) ferait partie des aspects médicaux à considérer pour le traitement du malade, plutôt qu'elle n'incomberait aux responsables de la protection générale contre les rayonnements.

Limites d'équivalent de dose pour les travailleurs

(96) Comme il a été indiqué au paragraphe 77, les limites d'équivalent de dose recommandées par la Commission pour l'exposition professionnelle sont restées en vigueur pendant plus de 20 ans. Etant donné l'importance qu'elle attache aux estimations de risque, la Commission a jugé utile d'évaluer les niveaux de risque qui sont associés à ses limites d'équivalent de dose. La Commission pense que, pour juger de l'acceptabilité du niveau de risque dans le travail sous rayonnements, une méthode valable, pour le proche avenir, consiste à comparer ce risque avec celui entraîné par d'autres professions connues comme présentant un haut niveau de sécurité ; c'est-à-dire, en général, celles dans lesquelles la mortalité annuelle moyenne due aux risques professionnels ne dépasse pas 10^{-4} *. Dans la plupart des professions, les décès, qu'ils soient dus à des accidents ou à des maladies, sont accompagnés d'un nombre beaucoup plus grand de cas ayant des conséquences moins graves. Aux niveaux imposés par le respect des limites d'équivalent de dose recommandées, l'exposition aux rayonnements, par contre, ne devrait entraîner, chez les travailleurs exposés, que très peu de lésions ou de maladies autres que les affections malignes susceptibles d'être induites. La Commission pense donc qu'en évaluant les conséquences des limites d'équivalent de dose, le taux calculé des affections malignes mortelles qui pourraient

---

* Voir le rapport de la Commission sur les problèmes inhérents à la mise au point d'un indice de préjudice (en préparation).

être induites par exposition professionnelle aux rayonnements ne devrait en aucun cas dépasser le taux des décès d'origine professionnelle observé dans des industries connues comme ayant un haut niveau de sécurité.

(97) On pourrait utiliser d'autres critères que les taux de mortalité pour s'assurer que, lorsque les limites d'équivalent de dose recommandées sont respectées, l'exposition aux rayonnements n'entraîne pas de danger plus grand que celui rencontré dans d'autres industries considérées comme sûres. Théoriquement, il faudrait tenir compte de toutes les composantes du préjudice, ou du détriment, inhérentes aux différentes professions — y compris la somme de tous les accidents, maladies, tares génétiques et décès qu'elles impliquent, de même que les inquiétudes des travailleurs ou de leurs familles vis à vis des risques ou des conditions de travail existant dans les différentes industries —. En première approximation, on peut dire qu'une évaluation fondée seulement sur le critère de mortalité peut être considérée comme prudente, puisque l'expérience a montré que les effets non mortels d'une irradiation sont beaucoup moins fréquents que les effets non mortels rencontrés dans d'autres professions sûres. Cependant, la sommation et la comparaison des diverses contributions au détriment total sont difficiles à faire sur une base objective.

(98) Il est possible de tenir compte de certains éléments de l'incapacité en estimant la perte de temps moyenne (par travailleur et par an, par exemple) par rapport à l'activité à plein temps — qu'elle provienne d'accidents, de maladies professionnelles ou, dans le cas extrême, de décès d'origine professionnelle —. Les problèmes posés par la mise au point sur cette base d'un "indice de préjudice" sont examinés dans un rapport que la Commission est en train de préparer sur ce sujet ; cependant, aucun critère de cette sorte ne peut être considéré comme donnant plus qu'une indication des larges différences qui existent dans le risque. Il faut noter, cependant, qu'un décès accidentel semble entraîner une perte de vie moyenne d'environ 30 ans dans un grand nombre d'industries et être associé à une perte totale de temps de travail à peu près équivalente parsuite d'accidents de travail. Il est probable qu'une affection maligne fatale induite par exposition professionnelle aux rayonnements entraînerait la perte de 10 années de vie environ, en raison du long délai de latence qu'implique le développement d'une telle maladie, sans qu'y soit associée une perte de temps appréciable due à des accidents.

(99) En faisant des comparaisons avec d'autres professions sûres, il faut bien comprendre que le niveau de risque représentatif d'une profession sûre se rapporte au risque *moyen* existant pour l'ensemble des travailleurs de la profession, mais que le risque individuel varie avec la nature du travail effectué et est donc distribué autour de cette moyenne. Une distribution similaire des risques individuels existe également dans le travail sous rayonnements ; dans de nombreux cas d'exposition professionnelle où le système de limitation des doses de la Commission a été appliqué, l'équivalent de dose moyen annuel obtenu n'est pas supérieur au dixième de la limite annuelle ⁂. L'application d'une limite d'équiva-

---

⁂ Voir Annexe E du rapport 1977 du Comité Scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants.

lent de dose procure donc au travailleur moyen du groupe une protection nettement meilleure que celle qui correspondrait à la limite.

(100) Dans le cas d'exposition uniforme de l'organisme entier, on a observé que lorsque les recommandations de la Commission, comprenant la limite annuelle d'équivalent de dose de 50 mSv, avaient été appliquées, la distribution des équivalents de dose annuels dans des groupes professionnels importants était généralement ajustée à une fonction log-normale, la moyenne arithmétique étant d'environ 5 mSv et très peu de valeurs approchant la limite. L'application des facteurs de risque indiqués aux paragraphes 40 - 60 à la dose moyenne mentionnée ci-dessus montre que le risque moyen, dans ces professions où l'on utilise les rayonnements, est comparable au risque moyen rencontré dans d'autres industries sûres (mais voir également paragraphe 29).

(101) Le principal objectif des limites d'équivalent de dose de la Commission est de garantir une protection adéquate même aux individus qui subissent l'exposition la plus élevée. Dans un grand nombre de professions, il est peu probable que les travailleurs qui sont exposés à des niveaux proches des limites d'équivalent de dose reçoivent des doses de cet ordre au cours de chaque année de leur vie professionnelle et le risque total couru par chaque travailleur serait déterminé par l'équivalent de dose qu'il pourrait recevoir au cours de sa vie entière. A ce point de vue, on peut comparer ces travailleurs à ceux qui, dans des professions "sûres", sont exposés au hasard à des risques plus élevés. Des expositions continuellement proches des limites seraient comparables avec une situation que l'on trouve dans des industries sans rayonnements où l'on a constaté l'existence d'un risque plus grand que la moyenne pour certains individus.

(102) Cependant, si dans une profession déterminée, l'exposition envisagée pour les travailleurs devait être telle qu'une fraction importante destravailleurs reçoive des équivalents de dose proches de la limite annuelle, l'exposition moyenne pourrait s'élever sensiblement au-dessus du dixième de la limite. Le risque moyen augmenterait alors en conséquence, même si aucun travailleur individuel ne dépassait la limite annuelle d'équivalent de dose. Une exposition de longue durée d'une proportion importante des travailleurs aux limites d'équivalent de dose ou à des niveaux proches de celles-ci ne serait acceptable que si une analyse coût-avantages approfondie montrait que le risque plus élevé qui en résulte était justifié.

Limites d'équivalent de dose recommandées (103). Les recommandations de la Commission sont destinées à prévenir les effets non-stochastiques et à limiter l'apparition des effets stochastiques à un niveau acceptable. La Commission pense que l'on peut prévenir les effets non-stochastiques en fixant une limite d'équivalent de dose de 0,5 Sv (50 rems) par an pour tous les tissus sauf le cristallin, pour lequel la Commission recommande une limite de 0,3 Sv (30 rems) par an. Ces limites s'appliquent de la même façon que les tissus soient exposés isolément ou conjointement avec d'autres organes et constituent une contrainte pour

toute exposition satisfaisant à la limitation des effets stochastiques (voir paragraphes 104 - 110).

(104) Dans le cas des effets stochastiques, la limitation des doses recommandée par la Commission est fondée sur le principe que le risque devrait être le même qu'il s'agisse d'une irradiation uniforme de l'organisme entier ou d'une irradiation non-uniforme. Cette condition sera satisfaite si

$$\sum_T w_T H_T \overset{*}{\leq} H_{oe,L}$$

où w_T est un facteur de pondération représentant le rapport du risque stochastique provenant du tissu (T) au risque total lorsque l'organisme entier est irradié uniformément, H_T est l'équivalent de dose annuel dans le tissu (T), $H_{oe,L}$ est la limite d'équivalent de dose annuelle recommandée pour une irradiation uniforme de l'organisme entier, c'est-à-dire 50 mSv (5 rems).

(105) Les valeurs recommandées par la Commission pour w_T sont données ci-dessous :

Tissus	w_T
Gonades	0,25
Seins	0,15
Moelle osseuse rouge	0,12
Poumon	0,12
Thyroïde	0,03
Surfaces osseuses	0,03
Reste de l'organisme	0,30

La valeur de w_T pour les tissus restants exige quelques éclaircissements. Pour les raisons indiquées aux paragraphes 58 et 59, la Commission recommande d'utiliser une valeur de w_T = 0,06 pour chacun des cinq organes ou tissus qui, dans le reste de l'organisme, reçoivent les équivalents de dose les plus élevés et de négliger l'exposition de tous les autres tissus qui restent. (En cas d'irradiation du tractus gastro-intestinal, l'estomac, l'intestin grêle, le gros intestin supérieur et le gros intestin inférieur sont traités comme quatre organes séparés).

(106) On sait que le risque associé à une exposition donnée varie avec l'âge et le sexe de l'individu exposé. Cependant, les valeurs de w_T recommandées au paragraphe 105 sont considérées comme appropriées à la protection de tous les travailleurs, indépendamment de ces sources de variabilité (voir également paragraphe 38).

---

* La Commission recommande de désigner la somme $\sum_T w_T H_T$ par l'expression *équivalent de dose effectif* (symbole : H_E) (Stockholm, Mai 1978).

(107) Les valeurs de w_T indiquées au paragraphe 105 ont été données comme directives pour les personnes chargées de calculer les limites secondaires et dérivées (voir chapitre F). Elles sont notamment utilisées par le Comité 2 de la CIPR pour calculer des limites annuelles d'incorporation (LAI) des radionucléides, dont les valeurs tiennent compte de l'équivalent de dose reçu au niveau de chaque tissu. En pratique, cependant, il suffira habituellement d'utiliser les limites secondaires qui s'appliquent d'une part à l'irradiation externe et, d'autre part, à l'irradiation interne, c'est-à-dire les limites fixées pour l'indice d'équivalent de dose profond $H_{I,p}$ et l'indice d'équivalent de dose superficiel $H_{I,s}$ (voir paragraphe 108), ainsi que les LAI (voir paragraphe 109).

(108) Dans les cas d'*irradiation externe* avec des rayonnements pénétrants lorsqu'on manque d'informations sur la distribution réelle de l'équivalent de dose dans l'organisme, il est possible de calculer la valeur *maximale* que pourrait prendre l'équivalent de dose à une profondeur de 1 cm ou plus dans une sphère de 30 cm (l'indice d'équivalent de dose profond, $H_{I,p}$)*. La limitation de l'indice d'équivalent de dose à une valeur annuelle de 50 mSv fournirait un niveau de protection qui serait au moins aussi bon que celui obtenu par la méthode recommandée au paragraphe 104. De plus, l'indice d'équivalent de dose superficiel (c'est-à-dire l'équivalent de dose maximal dans la couche extérieure, comprise entre 0,07 mm et 10 mm de profondeur d'une sphère de 30 cm) devrait être limité à 500 mSv pour assurer la protection de la peau. Dans les cas rencontrés en pratique, les limites fixées pour les indices d'équivalent de dose, profond et superficiel, limiteront l'équivalent de dose annuel dans le cristallin à une valeur inférieure à 300 mSv.

(109) En cas d'*irradiation interne* par suite de l'incorporation de radionucléides, la protection peut être fondée sur des limites annuelles d'incorporation (LAI). Celles-ci sont calculées par le Comité 2 de la CIPR à partir des équivalents de dose engagés par unité d'incorporation, déterminés pour les différents organes, en appliquant les principes traités aux paragraphes 104 et 105. Ces expositions doivent également respecter les limites données au paragraphe 103 pour les effets non-stochastiques.

(110) En cas d'irradiation externe et interne simultanées, les limites de dose recommandées par la Commission seront respectées si les deux conditions ci-dessous sont simultanément remplies :

$$\frac{H_{I,p}}{H_{E,L}} + \sum_j \frac{I_j}{I_{j,L}} \leq 1 \quad \text{et} \quad \frac{H_{I,s}}{H_{P,L}} \leq 1$$

---

* Commission Internationale des Unités et Mesures Radiologiques, *Le concept de base pour la détermination de l'équivalent de dose*, Rapport ICRU 25, (The conceptual basis for the determination of dose equivalent, ICRU Report 25, International Commission on Radiation Units and Measurements, Washington, 1976).

où $H_{I,p}$ est l'indice d'équivalent de dose profond annuel, $H_{I,s}$ l'indice d'équivalent de dose superficiel annuel, $H_{E,L}$ la limite annuelle de l'équivalent de dose effectif (50 mSv), $H_{P,L}$ la limite annuelle de l'équivalent de dose dans la peau (500 mSv), I_j l'incorporation annuelle d'un radionucléide j, $I_{j,L}$ la limite annuelle d'incorporation pour le radionucléide j.

(111) Bien que la Commission ne propose plus de limites d'équivalent de dose annuelles distinctes pour les différents tissus et organes lorsqu'ils sont irradiés isolément, les valeurs implicites de ces limites peuvent être obtenues, si nécessaire, en divisant la limite d'équivalent de dose $H_{oe,L}$ (50 mSv en un an) par la valeur correspondante de w_T. Ces valeurs devront de plus respecter les limites fondées sur les effets non-stochastiques qui sont données au paragraphe 103.

(112) Il faut reconnaître que les limites ont été établies pour être appliquées dans des cas moyens, pour tous les âges adultes et les deux sexes, sans tenir compte des circonstances individuelles qui pourraient augmenter le risque. La Commission pense qu'une variation du risque avec l'âge, par exemple, n'influera pas sur le risque total qui résulte de l'exposition subie pendant toute la vie, à moins que cette exposition ne concerne qu'un groupe déterminé. Toutefois, dans le cas d'exposition professionnelle de femmes enceintes, des précautions et des limitations de dose supplémentaires peuvent être nécessaires pour limiter l'irradiation de l'embryon ou du foetus (voir paragraphes 115 et 116).

Expositions exceptionnelles concertées (113). Dans de rares cas, il peut se produire, en marche normale, des situations telles qu'il peut être nécessaire d'autoriser quelques travailleurs à recevoir des équivalents de dose dépassant les limites recommandées. Dans de telles circonstances, les irradiations externes ou les incorporations de substances radioactives peuvent être autorisées sous réserve que la somme de l'équivalent de dose dû à l'irradiation externe et de l'équivalent de dose engagé dû à l'incorporation de radionucléides ne dépasse pas, à l'occasion d'un événement donné, deux fois la limite annuelle appropriée et cinq fois cette limite au cours de toute la vie. La Commission tient à souligner que des irradiations externes ou des incorporations de cette importance ne se justifient que s'il n'existe pas d'autres techniques permettant d'éviter aux travailleurs une telle exposition ou si ces techniques ne peuvent pas être mises en oeuvre (voir également paragraphe 171).

(114) Les expositions exceptionnelles concertées ne devraient pas être autorisées si le travailleur a subi auparavant des expositions anormales ayant entraîné des équivalents de dose dépassant cinq fois la limite annuelle appropriée. Les expositions exceptionnelles concertées ne devraient pas être autorisées pour les femmes en état de procréer. Les équivalents de dose dus à des expositions exceptionnelles concertées devraient être enregistrés avec ceux provenant des expositions habituelles, mais tout dépassement des limites recommandées aux paragraphes 103 et suivants ne devrait pas constituer en lui-même une raison suffisante pour exclure un travailleur de ses occupations habituelles. (Les exposi-

tions accidentelles et les expositions d'urgence sont traitées au chapitre G).

Exposition professionnelle des femmes en état de procréer (115). Lorsque les femmes en état de procréer sont exposées professionnellement au-dessous des limites recommandées au paragraphe 108, et lorsque cette exposition est subie à un débit à peu près régulier, il est peu probable qu'un embryon puisse revecoir plus de 5 mSv au cours des deux premiers mois de la grossesse. Compte tenu des circonstances dans lesquelles ces expositions pourraient avoir lieu, la Commission pense que cette procédure entraînera une protection satisfaisante au cours de la période essentielle de l'organogénèse.

Exposition professionnelle des femmes enceintes (116). Il est probable que toute grossesse de plus de deux mois aura été reconnue par la femme elle-même ou par un médecin. Pour les raisons indiquées au paragraphe 65, la Commission recommande qu'une fois la grossesse diagnostiquée, on prenne des dispositions telles que la femme ne puisse continuer à travailler que dans les conditions de travail du type B définies au paragraphe 161.

Limites d'équivalent de dose pour les membres du public

(117) Les risques dus aux rayonnements ne représentent qu'une très petite fraction de l'ensemble des risques auxquels sont exposées les personnes du public du fait de leur environnement. Il semble donc raisonnable d'apprécier l'importance que présentent pour le grand public les risques dus aux rayonnements à la lumière des autres risques que le public accepte dans la vie courante. La motivation de cette acceptation (lorsqu'elle concerne des risques qui ne pourraient être ni réduits ni entièrement évités) réside dans les avantages qui autrement n'existeraient pas, dans le coût social qu'entraînerait une réduction éventuelle du risque ou dans le jugement implicite que le risque est négligeable.

(118) En ce qui concerne les phénomènes stochastiques, le niveau de risque acceptable pour les personnes du public peut être obtenu en considérant des risques sur lesquels l'individu ne peut agir que dans une faible mesure et dont le contrôle, comme c'est le cas pour les mesures de sécurité relatives aux rayonnements, relève de directives nationales. Le risque dû à l'utilisation des transports publics en constitue un exemple. D'après les informations dont on dispose sur les risques couramment acceptés dans la vie quotidienne, on peut conclure que le niveau de risque de décès que le grand public considère comme acceptable est inférieur d'un ordre de grandeur à celui correspondant aux risques professionnels. Sur la base de ce qui précède, un risque compris entre 10^{-6} et 10^{-5} par an serait probablement acceptable pour tout membre individuel du public.

(119) Le fait d'admettre que le risque total est de l'ordre de 10^{-2} Sv^{-1} (voir paragraphe 60) impliquerait que la dose totale reçue au cours de toute sa vie par un membre individuel du public devrait être limitée à

une valeur correspondant à une exposition de 1 mSv par an au niveau de l'organisme entier pendant toute la vie. Pour les raisons qui sont données dans les paragraphes ci-dessous, il apparaît que la limite d'équivalent de dose de 5 mSv (0,5 rem) en un an, recommandée par la Commission pour l'organisme entier, appliquée, comme elle l'est, à des groupes critiques, permet de garantir ce niveau de sécurité et la Commission recommande de continuer à l'utiliser dans les conditions précisées aux paragraphes 120 - 128.

(120) L'application d'une limite annuelle d'équivalent de dose de 5 mSv aux personnes du public conduira probablement à des équivalents de dose moyens inférieurs à 0,5 mSv, à condition que les pratiques qui sont à l'origine d'une exposition du public soient peu nombreuses et n'entraînent qu'une exposition faible à l'extérieur des groupes critiques (voir paragraphe 85). En appliquant la limite d'équivalent de dose fixée pour les personnes du public, il faut tenir compte de la possibilité que quelques individus appartiennent à plus d'un groupe critique. En fait, étant donné les hypothèses majorantes que l'on utilise habituellement pour sélectionner les groupes critiques, les doses effectivement reçues par les individus les plus exposés seront dans la plupart des cas sensiblement inférieures aux doses prévues pour le groupe critique.

(121) La valeur réelle de la dose moyenne dépend à la fois du résultat de l'optimisation d'un grand nombre de pratiques justifiées entraînant des expositions aux rayonnements et de la valeur choisie pour limiter les doses individuelles. Si dans l'avenir, l'exposition combinée résultant des expositions optimisées devait, à un moment donné, aboutir à des équivalents de dose moyens supérieurs à 1 mSv par an, la situation pourrait être encore justifiée, même si le risque moyen pour les personnes du public était supérieur à l'intervalle 10^{-6} à 10^{-5} par an.

(122) Dans certains cas, l'optimisation qui pourrait être le critère de protection prédominant, nécessitera une sélection plus réaliste du groupe critique, car elle pourrait être faussée par le biais qu'introduirait une surestimation du risque. Dans de tels cas, la limite d'équivalent de dose pour les personnes du public, mentionnée au paragraphe 120, maintiendrait encore l'équivalent de dose moyen à un niveau satisfaisant, mais les quelques individus exposés au niveau de la limite d'équivalent de dose pourraient courir un risque compris entre 10^{-5} et 10^{-4} par an. Ce risque annuel dépasserait alors d'un ordre de grandeur l'intervalle de risque indiqué au paragraphe 118. Toutefois, comme des expositions au niveau de la limite d'équivalent de dose ne seront probablement pas répétées pendant un grand nombre d'années, il sera encore possible de limiter de manière satisfaisante la dose reçue au cours de toute la vie. Dans les rares cas où l'on observerait que quelques individus reçoivent effectivement des doses à débit élevé pendant des périodes prolongées, il serait prudent de prendre des mesures pour limiter la dose qu'ils pourraient recevoir au cours de la vie conformément aux indications données au paragraphe 119.

(123) Dans les cas où l'optimisation est le critère de protection décisif et où les groupes critiques sont choisis sur la base d'hypothèses

réalistes, il faudrait utiliser comme condition limite de tout processus d'optimisation une limitation des doses individuelles conforme à celle indiquée au paragraphe 122. Même les quelques individus qui recevraient effectivement des doses de cet ordre pendant un temps assez long ne seraient pas exposés à des risques sensiblement supérieurs au niveau qui est généralement considéré comme acceptable (voir paragraphe 118).

(124) Dans la plupart des cas pratiques, cependant, l'élaboration des projets administratifs est fondée sur des limites opérationnelles établies à partir d'une étude coût-efficacité très grossière des mesures de protection et d'une estimation très prudente des doses qui en résultent dans les groupes critiques. Pour l'élaboration de tels projets, il convient bien, en général, d'apprécier les doses qui seront reçues par les groupes critiques par rapport à la limite d'équivalent de dose de 5 mSv par an et la Commission n'a trouvé aucune raison pour recommander un changement de cette pratique. La principale raison de cette décision est la constatation que le système de limitation des doses de la Commission, avec la limite d'équivalent de dose de 5 mSv par an, procure le dégré de sécurité nécessaire, dans les conditions limitatives exposées aux paragraphes 120-123, et qu'une modification de la limite supérieure n'aurait pas, du point de vue de la protection contre les rayonnements, la même importance que l'application rigoureuse du principe qui consiste à maintenir toutes les doses au niveau le plus faible que l'on peut raisonnablement atteindre.

(125) Pour des expositions non-homogènes entraînant des doses H_T, au niveau des organes, la condition limitative est $\sum_T w_T H_T \leq H'_{oe,L}$, où $H'_{oe,L}$ est la limite d'équivalent de dose pour l'irradiation uniforme de l'organisme entier dans le cas d'une personne du public. Etant donné que lors de l'irradiation de personnes du public, les distributions en âge sont différentes, les risques ne seront pas tout à fait les mêmes que dans le cas des expositions professionnelles. Cependant, les risques *relatifs* ne seront que peu différents et la Commission n'a pas jugé ces différences suffisamment significatives pour recommander un ensemble distinct de facteurs de pondération avec des valeurs différentes de celles données pour w_T au paragraphe 105 (voir également paragraphe 60).

(126) Pour éviter qu'aucun organe ou tissu ne reçoive une dose totale qui pourrait contribuer de manière significative à l'induction d'effets non-stochastiques, il faudrait appliquer une limite annuelle d'équivalent de dose de 50 mSv à laquelle il ne saurait être dérogé. Cette limite est sensiblement inférieure aux limites correspondantes recommandées pour la prévention des effets non-stochastiques en cas d'exposition professionnelle. L'objectif est de garantir que, malgré la durée plus longue de l'exposition et les difficultés pratiques pour contrôler l'exposition totale à partir de toutes les sources, les doses correspondant aux seuils pour les effets non-stochastiques ne puissent être atteintes. La méthode de pondération recommandée au paragraphe 125 assurera, en général, en même temps la limitation nécessaire pour les effets non-stochastiques, mais la fixation de cette limite spéciale est nécessaire pour la peau et le cristallin.

(127) Lorsqu'on calcule l'équivalent de dose qui résulte pour les personnes du public d'une incorporation de radionucléides, il faut tenir compte de ce que les dimensions des organes et les caractéristiques métaboliques sont différentes chez les enfants. Des données sur ces différences figurent dans le rapport du groupe de travail sur l'Homme de Référence (*Publication CIPR 23*).

(128) Comme dans le cas des travailleurs (voir paragraphe 102), la dose moyenne reçue par les personnes du public pourrait augmenter du fait de toute augmentation assez importante du nombre des sources d'exposition, même si chaque source satisfaisait par elle-même aux critères de justification et d'optimisation (voir paragraphes 68 - 73) et ne pouvait produire une exposition dépassant les limites recommandées. Les autorités nationales et régionales devraient par conséquent exercer une surveillance continue sur chacune des contributions apportées par ces différentes pratiques à l'exposition moyenne de la population dans son ensemble, afin de s'assurer qu'aucune source ou pratique ne contribue pour une part injustifiée à l'exposition totale et qu'aucun individu ne reçoive une exposition indue du fait qu'il appartient à plusieurs groupes critiques.

Exposition des populations

(129) Dans ses recommandations antérieures, la Commission suggérait une limite de dose génétique, tout en exprimant des réserves sur l'opportunité de proposer des limites de dose que l'on pourrait appliquer d'une manière générale aux populations. Il est de plus en plus clair que le niveau antérieurement proposé ne risque pas d'être atteint et il est peu probable que des autorités responsables admettraient que l'équivalent de dose dans une population atteigne des valeurs dépassant une petite fraction de la limite de dose antérieure de 5 rems en 30 ans. Aussi, le maintien de la limite antérieure de dose génétique pourrait-il suggérer qu'il est possible d'accepter pour la population une exposition plus élevée que nécessaire ou probable et un risque plus élevé que ne le justifie toute situation actuelle ou aisément prévisible dans l'avenir. De plus, l'expérience acquise au cours des deux dernières décennies montre que les effets génétiques, bien qu'importants, ne sont probablement pas d'une importance prédominante et qu'ils devraient être comparés à la somme de tous les autres effets.

(130) C'est pourquoi dans les présentes recommandations, la Commission ne propose plus de limites de dose pour les populations. Elle tient par contre à souligner que toute contribution par une activité humaine à l'exposition de la population doit être justifiée par ses avantages et que les limites recommandées pour les personnes du public portent sur l'équivalent de dose total reçu à partir de toutes les sources (sauf les exceptions déjà mentionnées). Il est donc clair que la limite pour l'irradiation de toute une population est le total obtenu par la sommation des contributions minimales indispensables et non un total admissible apparemment disponible pour être réparti. Le respect des principes énoncés aux paragraphes 117 - 125, joint au système de limitation des doses de la Commission, permettra sans doute de garantir que l'équi-

valent de dose moyen pour la population ne dépassera pas 0,5 mSv par an.

(131) Lors de l'évaluation d'une pratique donnée par une analyse coût-avantages (voir paragraphes 60 et 68 - 76), la définition de l'équivalent de dose collectif est une procédure relativement directe si l'équivalent de dose est circonscrit à la population qui recueille les avantages dus à la source. Si l'exposition concerne d'autres populations (ou groupes, etc...), l'équivalent de dose collectif total devrait être maintenu à une valeur inférieure à celle que l'on aurait appliquée si l'évaluation coût-avantages n'avait concerné que la population qui profite des avantages.

(132) Pour satisfaire aux objectifs indiqués au paragraphe 128, il serait utile de faire des prévisions à long terme sur l'évolution des différentes contributions à l'équivalent de dose collectif total à partir de diverses sources d'exposition. Ces prévisions faciliteraient la discussion des accords nationaux et internationaux appropriés sur la justification de certaines contributions à l'exposition de la population. Pour les contributions qui, par nature, ne sont pas contrôlables au niveau national, ou sur la base d'un accord régional, il faudra un accord international sur les niveaux d'exposition ou les équivalents de dose collectifs que l'on pourra admettre à partir de diverses sources. Pour atteindre ces objectifs, les autorités concernées peuvent juger utile de fixer des limites aux équivalents de dose collectifs résultant de diverses pratiques ou sources d'exposition.

Accidents et états d'urgence

(133) Lorsque surviennent des expositions accidentelles, des questions se posent quant aux diverses mesures correctives dont on peut disposer pour limiter la dose qui s'ensuit. Dans de tels cas, le danger ou le coût social que comporte toute intervention doivent être justifiés par la réduction de risque qui en résulte. En raison des circonstances extrêmement variables dans lesquelles une intervention pourrait être envisagée, la Commission se trouve dans l'impossibilité de recommander des "niveaux d'intervention" qui conviendraient à toutes les situations. Cependant, pour certains types d'accident qui sont dans une certaine mesure prévisibles, on peut parfois, en analysant les coûts de l'accident et de l'intervention, déterminer des niveaux au-dessous desquels il *ne* serait *pas* approprié de prendre des mesures.

(134) La décision d'entreprendre une action corrective devra dépendre des circonstances particulières qui prévalent. En général, il ne conviendra de prendre de contre-mesures que si le risque et les charges sociales qui en découlent sont inférieurs à ceux qui résulteraient d'une exposition supplémentaire. Toutefois, au niveau opérationnel (dans un établissement possédant un réacteur, par exemple), les responsables de la santé et de la sécurité des travailleurs et des personnes à l'extérieur de l'établissement, auront besoin d'un plan d'urgence, comprenant des niveaux de dose auxquels diverses contre-mesures devraient être envisagées. La Commission considère que la fixation de ces niveaux pour des circonstances

données relève de la responsabilité des autorités nationales (voir également chapitre G).

(135) Comme il a été exposé au paragraphe 81, les limites d'équivalent de dose recommandées par la Commission sont des valeurs agréées, fixées pour qu'il soit possible d'envisager et concevoir des opérations impliquant des expositions aux rayonnements prévues, mais acceptables. Ces limites sont destinées à être utilisées seulement dans les cas où la source d'exposition est sous contrôle ; elles concernent des travailleurs moyens, sans tenir compte de leur âge et du nombre d'enfants qu'ils pourraient procréer. Les limites recommandées par la Commission sont fixées à un niveau que l'on estime associé à un faible degré de risque ; aussi, sauf si une limite était largement dépassée, le risque serait toujours suffisamment faible pour ne pas justifier des contre-mesures qui comporteraient elles-mêmes des risques significatifs ou des charges disproportionnées. Il est donc clair qu'il n'est pas obligatoire de prendre des contre-mesures chaque fois qu'une limite d'équivalent de dose a été ou pourrait être dépassée (voir chapitre G).

F. PRINCIPES GENERAUX DE PROTECTION OPERATIONNELLE CONTRE LES RAYONNEMENTS

INTRODUCTION

(136) Les recommandations contenues dans cette partie du rapport traitent des principes généraux de protection opérationnelle contre les rayonnements, depuis la conception initiale d'un projet impliquant une exposition aux rayonnements ionisants jusqu'aux mesures requises en cas d'accident ou d'urgence, en passant par la limitation de ces expositions en marche normale.

(137) Comme il a été indiqué au paragraphe 83, il faut distinguer trois types d'exposition auxquels il convient d'appliquer ces recommandations :

- l'exposition des individus au cours de leur travail ;
- l'exposition des individus du fait des examens ou traitements médicaux auxquels ils sont soumis ;
- et les autres expositions subies par des individus.

Ces différents points sont traités plus en détail au chapitre G.

(138) On trouvera des recommandations plus détaillées sur certains aspects de la protection dans des rapports faits par les Comités de la CIPR (voir la bibliographie). L'application de toutes ces recommandations fait appel au jugement professionnel.

(139) La responsabilité de la mise en oeuvre d'une protection appropriée

contre les rayonnements incombe aux employeurs, aux autorités compétentes statutaires, aux fabricants et aux utilisateurs de produits causant une exposition aux rayonnements et, dans certains cas, aux personnes exposées. La direction d'un établissement doit fournir tous les moyens nécessaires pour que les opérations dépendant de son autorité soient effectuées en toute sécurité. Elle devrait, en particulier, désigner des personnes chargées de fonctions spéciales de protection, comme par exemple les membres des équipes de protection contre les rayonnements.

(140) Tout projet d'installation et d'opération nouvelle, toute modification dans les installations et opérations existantes et tout produit nouveau ou modifié contenant des substances radioactives ou émettant des rayonnements ionisants devraient être examinés dès le stade de la conception en vue de la prévention de l'exposition qui pourrait en résulter pour les travailleurs et le public. De tels examens pourront souvent être effectués par comparaison avec des normes techniques détaillées préparées en tenant compte des recommandations de la Commission.

(141) Avant la mise en service d'une installation, la mise en oeuvre d'une opération ou la distribution d'un produit, il faudrait s'assurer que cette installation, cette opération ou ce produit est conforme au projet approuvé et que des dispositions appropriées ont été prises pour la protection contre les rayonnements. Dans le cas des installations et des opérations, on devrait en outre procéder continuellement à des vérifications de l'efficacité des dispositions administratives prises pour l'organisation de la protection ainsi que de l'existence et du respect de consignes de travail appropriées.

(142) L'évaluation de l'exposition des individus ou des groupes, qu'elle soit faite par des calculs ou des mesures, est un élément essentiel des méthodes utilisées pour la prévention de l'exposition et pour l'intervention (voir paragraphe 143). Au stade de la conception et des premières étapes de fonctionnement, l'accent doit être mis sur des évaluations prévisionnelles qui, si nécessaire, seront confirmées par la surveillance exercée au cours des opérations ultérieures. Des évaluations prévisionnelles sont également nécessaires lors de l'élaboration des plans d'intervention, mais, de plus, la surveillance effectuée en fonctionnement normal constituera souvent la base d'une éventuelle décision d'intervenir.

(143) On utilise le terme d'intervention lorsque, dans des situations anormales, y compris les cas d'accident, des mesures doivent être prises pour rompre avec la marche suivie en fonctionnement normal. L'objectif d'une intervention est de limiter l'exposition des individus et de réduire au minimum les conséquences des expositions inévitables. L'intervention comprend généralement l'action engagée pour redevenir maître de la situation anormale et des contre-mesures appliquées aux individus ou à leur environnement. Les grandes lignes des mesures à prendre en cas d'intervention devraient être établies à l'avance, compte tenu aussi bien de la probabilité que les diverses situations qui pourraient exiger une intervention ont de se produire que de leurs conséquences. Les détails ne pourront souvent être fixés qu'à la lumière des circonstances en cause.

NORMES DE PROTECTION

(144) Il est important de faire une distinction entre différents types de normes de protection : les limites fondamentales (limites d'équivalent de dose et limites secondaires), les limites dérivées, les limites autorisées et les niveaux de référence.

Limites

(145) Les *limites d'équivalent de dose* (voir paragraphes 103 et 104, 119 et 126) s'appliquent à l'équivalent de dose ou, le cas échéant, à l'équivalent de dose engagé dans les organes ou tissus de l'organisme d'un individu ou, dans le cas d'exposition de populations, à la valeur moyenne de l'une de ces grandeurs pour un groupe d'individus.

(146) Des *limites secondaires* sont données pour l'irradiation externe et pour l'irradiation interne. Dans le cas d'irradiation externe de l'organisme entier, la limite secondaire s'applique à l'équivalent de dose maximal dans l'organisme à une profondeur supérieure à 1 cm (voir paragraphe 108). Pour l'irradiation interne, les limites secondaires sont constituées par les limites annuelles d'incorporation par inhalation ou par ingestion (voir paragraphe 109). Ces limites d'incorporation se rapportent à l'*Homme de Référence* adulte. Cependant, lorsqu'un groupe critique de la population présente des caractéristiques biologiques sensiblement différentes de celles de l'Homme de Référence, il peut être nécessaire de tenir compte de ces différences (voir également paragraphe 127).

(147) Dans la pratique de la protection contre les rayonnements, il est souvent nécessaire de fixer des limites associées à des grandeurs autres que l'équivalent de dose, l'équivalent de dose engagé ou l'incorporation, et se rapportant, par exemple, aux conditions rencontrées dans l'environnement. Lorsque ces limites sont reliées aux limites fondamentales par un modèle défini de la situation et reflètent ainsi les limites fondamentales, on les appelle *limites dérivées*. On peut fixer des limites dérivées pour des grandeurs telles que le débit d'équivalent de dose sur un lieu de travail, la contamination de l'air, la contamination des surfaces et la contamination de produits de l'environnement. La précision de la relation entre les limites dérivées et les limites fondamentales dépend du réalisme du modèle utilisé pour l'établir.

(148) Les limites fixées par une autorité compétente ou par la direction d'un établissement sont appelées *limites autorisées*. Ces limites devraient, en général, être inférieures aux limites dérivées, mais, exceptionnellement, peuvent être égales à ces dernières. Pour établir les limites autorisées, on peut utiliser le processus d'optimisation. Ces limites ne s'appliquent que dans un nombre restreint de circonstances. Il est important que toute limitation de ce genre soit clairement spécifiée. La limite autorisée, lorsqu'elle existe, aura toujours priorité sur une limite

dérivée.

Niveaux de référence

(149) Des niveaux de référence peuvent être fixés pour l'une ou l'autre des grandeurs déterminées dans le cadre des programmes de protection contre les rayonnements, que ces grandeurs soient soumises ou non à des limites. Un niveau de référence ne constitue pas une limite ; il sert à déterminer la conduite à tenir lorsque la valeur d'une grandeur dépasse le niveau de référence ou va le dépasser. L'action à entreprendre peut aller d'un simple enregistrement de l'information à des investigations sur les causes et les conséquences et même jusqu'à des mesures d'intervention. Il est important de définir la portée générale de cette action au moment même où l'on définit le niveau de référence. Les niveaux de référence les plus couramment utilisés sont les niveaux d'enregistrement, les niveaux d'investigation et les niveaux d'intervention.

(150) Un grand nombre des mesures faites dans le cadre de programmes de surveillance donnent des résultats trop faibles pour présenter de l'intérêt et ces données sont souvent mises de côté sans être enregistrées. Aussi, est-il souvent utile de définir un *niveau d'enregistrement* officiel correspondant à un équivalent de dose ou une incorporation au-dessus desquels le résultat de mesure présente un intérêt suffisant pour valoir d'être enregistré et conservé. Les autres résultats peuvent alors être couverts par le simple énoncé qu'ils étaient tous inférieurs au niveau d'enregistrement préalablement défini. Lors de l'évaluation de l'équivalent de dose ou de l'incorporation annuels pour les besoins de la protection contre les rayonnements, ces résultats non enregistrés devraient être considérés comme ayant une valeur nulle. Cette façon de procéder permet de simplifier considérablement les archives des résultats de la surveillance.

(151) Les *niveaux d'investigation* peuvent être définis comme des valeurs de l'équivalent de dose ou de l'incorporation au-dessus desquelles les résultats sont jugés suffisamment importants pour justifier des investigations complémentaires. Pour toute mesure bien définie, quelle que soit sa nature, il est possible de fixer un niveau d'investigation dérivé tel que, lorsque le résultat de la mesure est inférieur au niveau d'investigation dérivé, on ait une certitude raisonnable que la valeur de l'équivalent de dose ou de l'incorporation est inférieure au niveau d'investigation correspondant (voir paragraphes 178 - 181).

(152) Bien que les détails d'une intervention dépendent de la situation qui se présentera à ce moment-là, l'expérience a montré qu'il est souvent utile d'avoir des *niveaux d'intervention* préétablis, de telle sorte qu'il ne sera très probablement pas nécessaire d'intervenir tant que la valeur de la grandeur correspondante ne dépassera pas le niveau d'intervention ou que l'on prévoit qu'elle ne le dépassera pas. Etant donné qu'une intervention peut interférer avec la marche normale des opérations ou, dans certains cas, rompre la chaîne normale des responsabilités, elle ne devrait pas être entreprise à la légère.

OPTIMISATION OPERATIONNELLE

(153) Pour appliquer le processus d'optimisation à la prévention de l'exposition et, en particulier, au choix des niveaux de protection, il faut que les situations soient examinées cas par cas. Dans la pratique, on définit une série de stratégies de protection contre les rayonnements. Puis, on évalue la variation de l'exposition aux rayonnements et le coût différentiel pour passer d'une stratégie à la suivante. Les deux variations doivent être exprimées en termes comparables, et c'est cette étape qui présente les difficultés les plus grandes (voir également paragraphes 72 - 76).

(154) Comme il a été indiqué au paragraphe 24, on admet habituellement que le détriment touchant la santé est proportionnel à l'équivalent de dose collectif dans le groupe exposé, mais d'autres composantes du détriment peuvent dépendre davantage de l'équivalent de dose le plus élevé et, en particulier, de la relation qui existe entre cette valeur et la limite correspondante. Deux situations extrêmes méritent d'être considérées. Dans la première, le détriment relatif à la santé dans le groupe exposé est la composante prédominante du détriment total et, dans ce cas, il faudra comparer la variation différentielle dans le coût des diverses stratégies de protection à la variation différentielle correspondante de l'équivalent de dose collectif. La deuxième situation extrême est celle dans laquelle le détriment relatif à la santé sera probablement très faible, par exemple lorsque le nombre d'individus est très restreint. L'optimisation, dans ce cas, porte sur l'équivalent de dose individuel le plus élevé, et non comme précédemment sur l'équivalent de dose collectif, et il sera nécessaire de tenir compte des contributions à l'exposition qui proviendraient de pratiques autres que celle examinée.

(155) Certaines expositions sont dues à des incidents mineurs et il importe alors de considérer non seulement le niveau de l'exposition, mais également sa probabilité, ou plus simplement d'apprécier l'exposition moyenne à long terme qui résultera pour les individus à la fois de l'exposition continue et de l'exposition intermittente. Cette technique permet de faire un choix entre les moyens qui doivent être consacrés à la réduction de l'exposition de routine et ceux qui doivent être mis en oeuvre pour éviter des incidents mineurs.

(156) Il conviendrait également de préciser l'avantage additionnel que procurerait éventuellement la mise à disposition de moyens de surveillance supplémentaires par rapport au minimum nécessaire pour vérifier le respect du niveau d'exposition obtenu par optimisation. Cependant, il est habituellement très difficile de quantifier un avantage de cette sorte et c'est pourquoi, les décisions sont largement fondées sur le jugement.

(157) Comme la plupart des formes d'intervention comportent quelque détriment, la méthode optimale d'intervention dépend d'un bilan entre le détriment produit par l'intervention et le bénéfice escompté des

réductions de dose réalisées grâce à l'intervention. Un tel bilan dépend nécessairement des circonstances locales qui existent au moment où survient la situation exigeant une intervention, mais un plan préalable devrait être établi à l'avance sur la base d'un événement éventuel.

(158) L'emploi de normes et de spécifications techniques constitue un apport considérable à la protection contre les rayonnements. L'optimisation cas par cas d'un équipement largement utilisé est une méthode peu avantageuse, car elle annule les avantages de la normalisation et entraîne une perte nette sur le plan social. Toutefois, l'optimisation devrait jouer un rôle lors de la fixation des normes et des spécifications ainsi que dans leur application ultérieure.

(159) Lorsqu'on manque de données appropriées pour une véritable optimisation, une méthode plus grossière peut être adoptée. Cette méthode consiste à appliquer à une limite un facteur de réduction relativement arbitraire ou à appliquer des facteurs de sécurité tout aussi arbitraires à la conception de l'installation. Les expositions produites peuvent alors être soit supérieures, soit inférieures à la valeur optimale.

G. APPLICATION AUX DIFFERENTS TYPES D'EXPOSITION

EXPOSITION PROFESSIONNELLE

(160) Dans un établissement possédant une source de rayonnements qui entraîne une exposition des travailleurs, la responsabilité essentielle de la protection des travailleurs incombe à la hiérarchie habituelle. Il sera, d'autre part, nécessaire de désigner des personnes techniquement compétentes chargées de donner un avis sur tous les aspects à considérer dans la protection contre les rayonnements, à l'intérieur comme à l'extérieur de l'établissement, et de fournir tous les services techniques qui sont nécessaires pour l'application des recommandations appropriées de protection contre les rayonnements.

Conditions de travail

(161) Pour les besoins de ce rapport, on entend par exposition professionnelle tous les équivalents de dose et toutes les incorporations qu'un travailleur subit au cours de ses heures de travail (à l'exclusion des équivalents de dose et incorporations résultant de l'exposition à des fins médicales et de l'irradiation naturelle). L'importance et la forme des problèmes posés par la protection des travailleurs contre les rayonnements varient dans des intervalles très larges et, sur le plan pratique, il est commode d'introduire un système de classification des conditions de travail. Les conditions de travail peuvent être réparties en deux classes :

- les conditions de travail A, dans lesquelles les expositions annuelles pourraient dépasser trois dixièmes des limites d'équivalent de dose ;
- les conditions de travail B, dans lesquelles il est très improbable que les expositions annuelles puissent dépasser trois dixièmes des limites d'équivalent de dose.

La valeur de trois dixièmes des limites fondamentales fixées pour l'exposition professionnelle constitue donc un niveau de référence utilisé pour l'organisation de la protection. Elle ne constitue pas une limite. Lorsque l'exposition n'est pas liée au travail et lorsque le travail s'effectue dans des bâtiments autres que ceux qui contiennent les sources de rayonnement à l'origine de l'exposition, les conditions de travail devraient être telles que l'on respecte les limites fixées pour les personnes du public.

(162) L'objectif principal de la définition des conditions de travail A est de garantir qu'une surveillance individuelle soit exercée sur des travailleurs, qui autrement pourraient atteindre ou dépasser les limites d'équivalent de dose, de telle sorte que, si nécessaire, leurs expositions puissent être limitées. Dans les conditions de travail B, il n'est pas nécessaire d'exercer une surveillance individuelle ; toutefois, celle-ci peut parfois servir de méthode de confirmation de l'existence de conditions satisfaisantes.

(163) L'application pratique de ce système de classification des conditions de travail est grandement simplifiée par l'adoption d'un système correspondant de classification des lieux de travail. La condition minimale requise est de définir des zones contrôlées, dont l'accès soit limité, là où des opérations continues seraient à l'origine de conditions de travail A. La délimitation des zones contrôlées dépendra des conditions opérationnelles et, souvent, il sera commode d'utiliser des structures existantes comme limites. La zone contrôlée devrait en tout cas être assez étendue pour qu'il soit fortement improbable qu'à l'extérieur les travailleurs puissent recevoir des équivalents de dose dépassant trois dixièmes des limites.

(164) Il est parfois commode de définir encore une autre classe de lieux de travail. On les désigne sous le nom de "zones surveillées". Les limites de ces zones sont choisies de telle manière qu'il soit fortement improbable qu'à l'extérieur d'une zone surveillée les équivalents de dose annuels puissent dépasser un dixième des limites.

(165) La classification des zones et la classification des conditions de travail ne sont pas exactement parallèles, étant donné que la classification des zones ne tient pas compte du temps que les travailleurs passent dans la zone au cours de l'année et que les conditions sont rarement uniformes à travers toute une zone.

(166) Afin de simplifier les dispositions à prendre pour la surveillance médicale et pour la surveillance individuelle de l'exposition, on procède habituellement à une classification individuelle des travailleurs. En

principe, cette classification peut être faite en fonction de la classe des conditions de travail dans lesquelles les travailleurs se livrent à leurs occupations, mais en pratique elle devra presque toujours être faite en fonction des zones dans lesquelles ils travaillent, de la nature du travail effectué et, dans la mesure où on peut le prévoir d'une manière suffisamment exacte, du temps que les travailleurs doivent passer dans la zone.

Dispositions à prendre pour la prévention de l'exposition

(167) Dans la mesure où cela peut être raisonnablement réalisé, la prévention de l'exposition professionnelle devra être assurée par des mesures prises au niveau de la source de rayonnements et des caractéristiques du lieu de travail. L'utilisation d'équipements de protection personnels ne devrait en général que s'ajouter à ces dispositions plus fondamentales. L'accent devrait donc être mis sur la sécurité intrinsèque du lieu de travail et d'une manière secondaire seulement sur la protection qui dépend de l'action propre du travailleur.

(168) L'accès aux zones contrôlées devrait être soumis à des restrictions, comprenant au moins la mise en place d'une signalisation appropriée A l'intérieur des zones contrôlées, il sera parfois nécessaire de délimiter des secteurs dans lesquels les limites fixées ne peuvent être respectées qu'en limitant le temps de séjour ou en utilisant un équipement de protection spécial. L'accès aux zones contrôlées devrait être réservé aux travailleurs qui y sont affectés et à ceux qui ont été spécialement autorisés à y pénétrer. L'accès des travailleurs aux zones surveillées devrait faire l'objet de consignes de travail locales. Les visiteurs, qu'il s'agisse de travailleurs ou de personnes du public, ne devraient être admis sur les lieux de travail qu'avec l'approbation d'un échelon approprié de la hiérarchie responsable du lieu de travail.

(169) La prévention de l'irradiation externe peut être réalisée au moyen d'écrans, de la distance et de la limitation de la durée d'exposition. Les écrans fournissent des conditions de sécurité intrinsèques sur le lieu de travail. L'utilisation de la distance et de la limitation de la durée d'exposition exige que les travailleurs soient bien entraînés et surveillés. Une protection totale peut être obtenue par l'utilisation d'installations "fermées" procurant un blindage quasi total de la source de rayonnements et rendant l'accès effectivement impossible. Cependant, la défaillance de dispositifs tels que les systèmes de verrouillage peut être à l'origine d'une exposition excessive. Aussi les consignes d'exploitation devraient-elles inclure des contrôles de routine de ces systèmes.

(170) La prévention de la contamination par des substances radioactives peut être réalisée par le confinement et la propreté. Le confinement, qui procure une sécurité intrinsèque, est constitué par une série de barrières dont le nombre est fonction des dangers potentiels qui existent. Le confinement total n'est pas toujours justifié et un confinement partiel peut suffire à condition d'être complété par un niveau de propreté élevé. La ventilation joue un rôle important à la fois pour le confine-

ment et pour la propreté. Lorsqu'il n'est pas possible d'exclure une contamination du lieu de travail, la protection des travailleurs doit être complétée par un équipement de protection personnel.

(171) Bien que la Commission ait fait des recommandations pour les expositions exceptionnelles concertées impliquant une contamination interne (voir paragraphe 113), l'emploi d'équipements de protection devrait permettre d'éviter des expositions de ce genre.

(172) Tous les travailleurs qui peuvent avoir accès à des zones surveillées ou contrôlées devraient être convenablement entraînés et recevoir une information appropriée sur les risques que comporte leur travail et sur les précautions à prendre pour se protéger. Ils devraient être rendus conscients de l'importance du respect des consignes de travail.

Surveillance de l'exposition

(173) Pour les travailleurs affectés à des travaux qui s'effectuent dans des conditions de travail A, il conviendra de faire, selon le cas, une évaluation individuelle de l'équivalent de dose, de l'équivalent de dose engagé ou de l'incorporation. Celle-ci repose sur une surveillance individuelle portant sur l'irradiation externe et sur la contamination interne suivant les besoins. Dans certains cas, il sera nécessaire de faire appel à des méthodes d'évaluation indirectes. L'évaluation individuelle de l'exposition n'est pas nécessaire pour les travailleurs affectés à des travaux dans les conditions de travail B. Il suffit, dans ce cas, d'évaluer les conditions régnant dans l'environnement de travail, conformément aux principes et recommandations figurant dans la *Publication CIPR 12.*

(174) Les programmes de surveillance devraient être conçus pour répondre à des objectifs clairement définis : la surveillance de routine, liée à des opérations à caractère permanent, la surveillance d'une opération, appliquée à une opération déterminée,et la surveillance spéciale en cas de situation anormale ou suspectée comme telle. Outre leurs objectifs fondamentaux, la plupart des programmes de surveillance remplissent des fonctions annexes. Les programmes devraient être révisés, aussi bien de façon périodique à la lumière de l'expérience acquise qu'à l'occasion de toute modification importante de l'installation ou des opérations, afin de s'assurer qu'ils continuent à remplir leurs objectifs.

Utilisation de normes de protection pour l'interprétation des résultats de la surveillance (175). En appliquant un programme de surveillance individuelle, on peut se servir de limites dérivées ou de limites autorisées. Ces limites jouent un rôle essentiel pour la surveillance des opérations, car,en général, seule une fraction de la limite d'équivalent de dose ou de la limite secondaire peut être engagée par opération.

(176) Les données obtenues dans les programmes de surveillance des lieux de travail ne peuvent que rarement servir pour estimer les équivalents de dose individuels ou les incorporations des travailleurs. L'utilisation de limites dérivées ou autorisées est essentielle pour l'interprétation des

programmes de surveillance des conditions ambiantes.

(177) Une partie importante de tous les programmes de surveillance ne sert qu'à titre de contrôle et, si les résultats obtenus sont satisfaisants, il n'est pas nécessaire de prendre d'autres dispositions. Dans ce cas, il n'est pas exclu qu'on laisse échapper un résultat occasionnellement significatif, à moins d'utiliser des niveaux d'investigation et des niveaux d'investigation dérivés. Les premières mesures à prendre lorsqu'un résultat dépasse le niveau d'investigation devraient être définies à l'avance.

(178) Il est possible de donner des indications générales, qui pourront être utilisées dans un grand nombre de cas, sur des niveaux d'investigation adaptés à la surveillance individuelle. Comme la Commission n'a pas fait de recommandations pour la surveillance individuelle dans les conditions de travail B (c'est-à-dire lorsqu'il est fortement improbable que l'exposition dépasse trois dixièmes des limites d'équivalent de dose, des limites secondaires ou des limites dérivées), cette valeur de trois dixièmes convient souvent bien pour la fixation de niveaux d'investigation à des fins de surveillance individuelle. Toutefois, pour être utile, un niveau d'investigation doit être fixé par rapport à une mesure unique, et non par rapport à l'équivalent de dose ou à l'incorporation accumulés en un an ; le mieux est de fonder le niveau d'investigation sur la fraction des trois dixièmes de la limite qui correspond à la fraction de l'année à laquelle se rapporte la mesure faite dans le cadre de la surveillance individuelle. On peut alors en déduire les niveaux d'investigation dérivés correspondants pour les grandeurs directement accessibles à la mesure.

(179) La fixation des niveaux d'investigation à utiliser dans les programmes de surveillance spéciale s'appuie sur des considérations quelque peu différentes. La surveillance est, dans ce cas, associée à un événement isolé, quoique pas nécessairement unique. En principe, le choix d'un niveau d'investigation dépend du nombre probable d'occasions dans l'année au cours desquelles des événements similaires vont se produire. Dans la *Publication CIPR 10*, la Commission recommande que le niveau d'investigation corresponde à un vingtième des limites annuelles d'équivalent de dose. Ce niveau est avec la limite d'équivalent de dose dans le même rapport que le niveau correspondant prévu pour la surveillance de routine, en admettant qu'un même individu puisse être impliqué environ six fois en un an dans des événements exigeant un programme de surveillance spéciale.

(180) Les niveaux d'investigation pour d'autres types de surveillance dépendront des objectifs et de la forme du programme de surveillance et du type d'investigation à effectuer. Un type de niveau d'investigation couramment utilisé pour la surveillance des lieux de travail est fondé sur l'homogénéité des résultats à laquelle on s'attend dans les conditions normales.

(181) Bien que les niveaux d'investigation conviennent bien pour commencer à faire des investigations dans des situations déterminées, il peut

être utile d'enregistrer les équivalents de dose à des niveaux quelque peu inférieurs. La Commission recommande que les niveaux d'enregistrement soient fondés sur un équivalent de dose ou une incorporation annuels correspondant à un dixième de la limite annuelle d'équivalent de dose ou d'incorporation.

(182) Dans le cas particulier de la peau, on peut rencontrer en surveillance de routine deux types de situations. En cas d'irradiation externe, un équivalent de dose est mesuré à l'aide de un ou deux dosimètres et les résultats sont considérés comme représentatifs de l'irradiation de l'ensemble, ou de parties importantes, de la peau. Faire la moyenne ne pose alors aucun problème et les résultats sont directement rapportés à la limite d'équivalent de dose correspondante. Dans le deuxième type de situation, l'irradiation résulte d'une contamination superficielle de la peau. Cette dernière n'est jamais uniforme et se trouve préférentiellement sur certaines parties du corps, notamment sur les mains. Cependant, elle ne persiste pas pendant un grand nombre de semaines et ne se reproduit pas toujours exactement à la même place. Pour la routine, il convient de considérer la contamination en moyenne sur des surfaces d'environ 100 cm^2. La surveillance de routine de la contamination de la peau devrait donc être interprétée sur cette base et la limite appliquée à l'équivalent de dose moyen sur 100 cm^2.

(183) En cas d'accident ou de présomption d'accident, il faudrait chercher à obtenir des informations plus détaillées sur la distribution de la dose absorbée, de l'équivalent de dose ou de la contamination. Une estimation de l'équivalent de dose moyen sur 1 cm^2 devrait être faite dans la région ayant reçu l'équivalent de dose le plus élevé. L'équivalent de dose ainsi obtenu devrait alors être comparé à la limite d'équivalent de dose. Si la distribution de la dose est très hétérogène, comme il arrive lorsque de très petites particules se trouvent au contact de la peau, il convient d'évaluer la distribution locale de la dose absorbée, afin de prévoir d'éventuelles réactions locales de la peau. Il n'est cependant pas correct de comparer des doses absorbées ainsi localisées aux doses absorbées qui correspondent à la limite d'équivalent de dose.

Surveillance médicale

(184) La surveillance médicale des travailleurs exposés aux rayonnements est fondée sur les principes généraux de la médecine du travail. Ses objectifs sont les suivants :

- évaluer la santé des travailleurs ;
- aider à garantir qu'initialement et par la suite la santé des travailleurs soit compatible avec leurs conditions de travail ;
- fournir des informations qui pourront être utilisées comme base de départ en cas d'exposition accidentelle ou de maladie professionnelle.

On ne peut rattacher de manière indiscutable des effets nocifs aux expositions comprises dans les limites d'équivalent de dose et la surveillance médicale n'a pas à intervenir pour confirmer l'efficacité d'un programme de protection contre les rayonnements. La surveillance médicale peut

comporter aussi bien des examens préopérationnels que des examens de routine, ces derniers étant déterminés essentiellement par l'état de santé général du travailleur et par les conditions de travail.

(185) Les travailleurs affectés à des travaux qui s'effectuent dans des conditions de travail A devraient subir un examen médical préopérationnel avant d'entreprendre ce genre de travail, mais pas nécessairement avant l'embauche. L'un des objectifs d'un tel examen est de dépister un état ou des caractéristiques qui limitent le type d'exposition auquel l'individu concerné pourrait être soumis. Pour cela, le médecin a besoin de renseignements sur les conditions de travail, comprenant notamment une description détaillée du poste de travail.

(186) Après avoir effectué un examen préopérationnel, il conviendrait d'examiner si une surveillance continue devrait être exercée sur la santé du travailleur. Si celle-ci était nécessaire, le médecin devrait avoir accès aux informations détenues par l'employeur sur les conditions de travail (par exemple, description du poste et de l'environnement de travail) et sur l'état de santé des travailleurs (absences pour cause de maladie, par exemple). C'est essentiellement sur la base de ces informations que devrait être décidée la fréquence des divers examens de routine.

(187) La Commission estime qu'avec le présent système de limitation des doses, aucune mesure administrative spéciale ne s'impose vis-à-vis des travailleurs du point de vue des risquesdus aux rayonnements. Aucune disposition spéciale n'est, en particulier, nécessaire en ce qui concerne les horaires de travail et la durée des vacances.

Intervention dans les situations anormales

(188) Pour le cas où surviendraient des situations anormales, des dispositions devraient être prises, non seulement en ce qui concerne leur détection et l'évaluation de la dose ou de l'incorporation, mais également en ce qui concerne la forme de l'intervention que l'on pourrait être amené à mettre en oeuvre. Les niveaux d'intervention et les actions propres à limiter l'exposition devraient faire l'objet de consignes appropriées. Il faudrait aussi prévoir les mesures nécessaires pour assurer une surveillance médicale spéciale et, si nécessaire, instituer un traitement à la suite d'une exposition dépassant sensiblement les limites d'équivalent de dose.

(189) Les plans d'urgence (qui, dans toute la mesure du possible, devraient être établis à l'avance) devraient avoir trois objectifs bien distincts. Le premier est de prévenir les exposition autant qu'on peut raisonnablement le faire et, notamment, d'essayer d'éviter les expositions supérieures aux limites d'équivalent de dose. Le deuxième objectif est de redevenir maître de la situation et le troisième est d'obtenir des informations pour évaluer les causes et les conséquences de l'événement.

(190) Bien que, de par leur nature, les expositions accidentelles ne soient pas contrôlées, leur importance peut dans une certaine mesure être limitée par une intervention, en particulier lorsqu'une certaine atten-

tion a été accordée à cette possibilité lors de la conception des installations et de l'appareillage ainsi que lors de la préparation des consignes de travail.

(191) Au cours même d'un incident grave, l'action urgente nécessaire pour sauver des vies, pour prévenir des dommages aux personnes ou pour éviter une augmentation substantielle des proportions de l'incident, peut obliger à exposer quelques travailleurs au-delà des limites fixées pour une exposition exceptionnelle concertée. Ces travailleurs devraient être des volontaires et il est souhaitable qu'une information sur les risques dus à des expositions qui dépassent les limites, soit donnée, dans le cadre de leur formation normale, à des groupes de travailleurs parmi lesquels on pourrait, dans un tel cas, trouver des volontaires. Il ne sera habituellement pas possible de contrôler une telle exposition dans tous ses aspects, mais des efforts importants devraient être faits pour que les expositions qui pourraient en résulter ne dépassent pas une limite supérieure donnée.

(192) Une fois l'événement initial maîtrisé, il restera le problème du travail de réparation. Celui-ci devra généralement être effectué en assurant le respect des limites recommandées par la Commission, mais, exceptionnellement, on peut rencontrer des cas dans lesquels l'application des limites impliquerait une dépense excessive, une durée excessive des opérations ou le recours à un nombre excessif de personnes. Il conviendrait alors d'examiner s'il ne serait pas juste d'autoriser une exposition exceptionnelle concertée pour un nombre limité de personnes qui effectueraient diverses opérations essentielles ; le reste des opérations devrait ensuite être effectué dans le respect des limites.

(193) Il peut arriver que, par suite de situations anormales, certains travailleurs soient sérieusement irradiés ou contaminés. En cas d'irradiation externe, l'action immédiate qui s'impose consiste essentiellement à recueillir des informations sur les circonstances de l'accident et à soumettre tout de suite à des examens médicaux les individus qui ont pu être exposés sensiblement au-dessus des limites, afin de pouvoir ultérieurement porter un diagnostic. Dans quelques cas de contamination de la peau, de contamination de blessures ou d'incorporation de substances radioactives par inhalation ou par ingestion, il est indiqué d'entreprendre une action thérapeutique immédiate. L'efficacité de cette action est largement déterminée par la rapidité avec laquelle elle peut être mise en oeuvre. Cependant, il ne faudrait pas permettre que la nécessité de réduire la contamination interfère avec les soins d'urgence et avec le traitement ultérieur des individus qui devraient être soignés pour d'autres raisons. Les décisions devront souvent être prises sur la base d'éléments qualitatifs et non sur la base de mesures de surveillance qui auraient été effectuées et interprétées avec soin. Il est à cet égard particulièrement important qu'il y ait des relations de travail étroites entre la direction de l'établissement, les personnes qui ont des responsabilités particulières en protection contre les rayonnements et le personnel médical, que celui-ci fasse partie de l'établissement ou de l'hôpital local. Il est essentiel que ces rapports de travail soient établis à l'avance.

(194) Les principales dispositions administratives à prendre à la suite d'un événement anormal consistent à entreprendre une enquête sur les causes et les conséquences de l'événement et à prendre une décision sur la nécessité éventuelle d'une restriction à l'emploi futur des travailleurs impliqués dans cet événement. Si la dose ou l'incorporation de substances radioactives dépassent deux fois la limite annuelle, le cas devrait être soumis à un examen médical approprié. Le travailleur pourra encore être autorisé à poursuivre son travail de routine, s'il n'y a aucune objection sur le plan médical, après que l'on aura dûment considéré ses antécédents d'exposition, sa santé, son âge et sa compétence particulière, ainsi que ses responsabilités sociales et économiques. Toutefois, il est possible que, chez certains individus, cet événement aura révélé des caractéristiques qui entraînent l'inaptitude à un emploi ultérieur dans un travail similaire.

EXPOSITION MEDICALE

(195) L'expression exposition médicale se réfère à l'exposition des individus soumis à des examens ou traitements médicaux comportant une irradiation. Le plus souvent, l'exposition médicale est liée à l'utilisation de rayonnements à des fins diagnostiques ou thérapeutiques, mais dans certains cas, celui des stimulateurs cardiaques utilisant une source d'énergie radioactive par exemple, les rayonnements ne jouent aucun rôle utile et l'exposition constitue simplement un phénomène superflu.

(196) Les actes médicaux peuvent avoir divers objectifs :

- examens ou traitements directement liés à une affection ;
- examens systématiques pratiqués dans le cadre de dépistages de masse ou de bilans de santé périodiques ;
- examens pratiqués dans le cadre de la surveillance médicale des travailleurs, pour des raisons médico-légales ou dans le domaine des assurances ;
- examens ou traitements pratiqués dans le cadre d'un programme de recherche médicale.

Examens ou traitements directement liés à une affection

(197) La responsabilité de décider si un examen, qui entraîne pour le malade une certaine dose de rayonnements, est justifié incombe parfois au médecin traitant et parfois au praticien qui effectue l'acte. Cependant, dans un cas comme dans l'autre, il est indispensable que la décision soit fondée sur une évaluation correcte de l'indication de l'examen, du bénéfice escompté de l'examen et de l'importance que les résultats peuvent avoir pour le diagnostic et le traitement médical ultérieur du patient. Il est également important que cette évaluation soit faite sur la base d'une connaissance suffisante des propriétés physiques et des effets biologiques des rayonnements ionisants.

(198) Dans les irradiations thérapeutiques, les doses absorbées au niveau des organes sont en général beaucoup plus élevées et tant les dangers de l'exposition que les bénéfices du traitement peuvent être évalués d'une manière plus quantitative. La décision peut alors être fondée sur une mise en balance de ces différents aspects. Il faut également considérer les autres méthodes thérapeutiques possibles et comparer leur efficacité et les dangers qu'elles comportent à ceux du traitement radiologique.

(199) S'il est important que la décision d'effectuer des examens ou traitements impliquant une exposition aux rayonnements tienne compte des dangers que comportent ces expositions, il est non moins important que ces dangers ne soient pas surestimés, ce qui pourrait conduire à rejeter des examens ou des traitements justifiés.

Examens systématiques

(200) Les bilans de santé périodiques pratiqués sans relation avec une affection en cours peuvent comporter un certain nombre d'examens radiologiques. La justification de ces examens dépend de la probabilité que l'on a d'obtenir des informations utiles et de l'importance de ces informations pour la santé de l'individu.

(201) Pour les examens systématiques faits en vue du dépistage de masse, la justification devrait être fondée sur un bilan entre les avantages qu'ils comportent pour les individus examinés et pour la population dans son ensemble, d'une part et les coûts, y compris le détriment, entraînés par le dépistage, d'autre part. D'une façon générale, les avantages dépendront du rendement du dépistage, des possibilités de traitement efficace des cas dépistés et, dans le cas de certaines maladies, des avantages qui résulteront pour la collectivité du contrôle de la maladie. Les avantages retirés du dépistage ne sont pas toujours identiques pour les différents groupes qui composent la population et, souvent, le dépistage ne sera justifié que s'il est limité à certains groupes déterminés. Le programme devrait être fréquemment réexaminé pour déterminer si le rendement de dépistage de maladies importantes est suffisamment élevé pour justifier qu'il soit poursuivi.

Examens pratiqués à des fins professionnelles, médico-légales ou dans le cadre des assurances

(202) Les examens effectués pour juger si un individu est apte au travail, pour fournir des informations à des fins médico-légales ou pour apprécier l'état de santé du souscripteur ou du bénéficiaire d'une assurance, peuvent comporter des avantages directs ou indirects pour l'individu qui y est soumis, mais ils comportent également des avantages pour l'employeur, pour des tiers et pour l'assureur. C'est l'ensemble de ces aspects qui devrait être considéré pour estimer la justification de ces examens.

Recherche médicale

(203) Les examens ou traitements pratiqués dans le cadre d'un programme de recherche médicale comportent parfois des avantages directs pour l'individu exposé et parfois n'en comportent pas. Lorsque des méthodes nouvelles et en cours d'expérimentation sont susceptibles de bénéficier, sur le plan du diagnostic ou du traitement, aux malades sur lesquels sont effectués les essais, la justification des actes peut être appréciée de la même manière que pour les autres expositions médicales. Néanmoins, en raison du caractère expérimental des méthodes mises en oeuvre, celles-ci devraient faire l'objet d'une étude approfondie.

(204) L'irradiation délibérée de personnes pour les besoins de la recherche ou d'autres études qui ne comportent aucun bénéfice direct pour les personnes irradiées, en particulier lorsque l'exposition n'est liée à aucune affection que ces personnes pourraient avoir, ne devrait être pratiquée que par des personnes suffisamment qualifiées et entraînées. Une telle irradiation ne devrait être administrée qu'avec l'accord des autorités responsables de l'établissement où elle doit être effectuée, après avis d'un organisme expert approprié et conformément aux règlements locaux et nationaux. Les risques estimés de l'irradiation devraient être expliqués aux personnes concernées qui devraient être des volontaires pleinement capables d'exercer librement leur volonté. Plus la dose est élevée, plus les exigences imposées pour s'assurer du concours de personnes véritablement volontaires et de leur faculté à comprendre le risque devraient être rigoureuses. Il s'ensuit que l'irradiation à des fins de recherche ne devrait être pratiquée sur des enfants ou d'autres personnes considérées comme incapables de donner un consentement authentique que si la dose de rayonnement prévue est faible (par exemple de l'ordre du dixième des limites d'équivalent de dose fixées pour les personnes du public) et si une autorisation valable a été donnée par les responsables légaux de ces personnes. Les individus exposés dans de telles conditions ne retirent aucun bénéfice direct de leur exposition; c'est pourquoi il est nécessaire de veiller à ce que le détriment reste acceptable et, par conséquent, de fixer des limites autorisées. Toutefois, comme l'importance du détriment lié à l'exposition dépend de l'âge et de l'état de santé de l'individu exposé, il n'est pas possible de fixer des limites qui aient une portée générale. Des limites autorisées appropriées devraient donc être fixées pour chaque programme de recherches.

Optimisation de l'exposition

(205) La Commission tient à insister à nouveau sur le fait qu'en veillant attentivement aux techniques employées, on réduirait considérablement, dans de nombreux cas, la dose due aux actes médicaux sans compromettre leur valeur. D'une façon générale, les techniques et l'appareillage utilisés devraient permettre :

- de réduire les doses reçues par les tissus, dans la région de l'organisme soumise à l'examen, à la valeur minimale compatible avec l'obtention des informations nécessaires chez le patient considéré ;

- d'administrer à la région de l'organisme qui est traitée une dose thérapeutique d'une importance suffisante pour garantir l'efficacité requise ;
- de limiter autant que possible l'exposition des autres parties de l'organisme.

(206) En raison du risque de production d'une lésion due aux rayonnements chez l'embryon ou le foetus, la possibilité d'un grossesse est l'un des facteurs à considérer pour décider si l'on doit pratiquer un examen radiologique au niveau de l'abdomen inférieur chez une femme en état de procréer. Bien qu'il soit moins probable qu'un embryon soit en cours de développement et puisse donc courir un risque, lorsqu'un tel examen est pratiqué dans un intervalle de 10 jours après le début de la menstruation, il faudrait toujours, que la femme soit ou non reconnue enceinte, veiller aux détails de la technique radiologique qui permettent de réduire au minimum l'exposition d'un embryon ou foetus éventuellement présent.

(207) Avant de prescrire un examen ou une investigation, le médecin responsable devrait s'assurer que les informations requises n'ont pas déjà été fournies par d'autres examens et investigations antérieurs.

Formation professionnelle

(208) La Commission tient à souligner l'importance qu'il y a à inclure une formation suffisante en protection contre les rayonnements dans l'enseignement et la formation générales des individus qui s'engagent dans une profession médicale ou paramédicale; tous ceux qui s'engagent dans une telle profession peuvent, en effet, être amenés à intervenir dans la prescription d'actes médicaux comportant une exposition aux rayonnements. Une formation plus approfondie en protection contre les rayonnements est nécessaire pour ceux qui projettent de s'engager dans la voie de la radiologie ainsi que pour les scientifiques et les techniciens qui apportent leur assistance dans l'utilisation médicale des rayonnements.

(209) Des recommandations et des informations plus détaillées sur la protection des personnes soumises à des examens ou traitements médicaux et sur la formation du corps médical figurent dans les *Publications CIPR 15, 16* et *17*.

AUTRES EXPOSITIONS

(210) Les individus de la population peuvent être soumis, du fait des activités humaines, à des expositions provenant de nombreuses sources autres que celles qui sont à l'origine des expositions professionnelles et des expositions médicales. L'exposition due à cette large gamme de sources est étudiée dans les paragraphes ci-dessous.

(211) Les diverses contributions à cette exposition peuvent être regroupées en quelques grandes catégories auxquelles peuvent s'appliquer les principes généraux de protection, mais qui exigent des approches techniques différentes. Ces catégories sont les suivantes :

- exposition due à la dispersion de substances radioactives dans l'environnement ;
- exposition directe à des sources de rayonnements utilisées dans l'industrie, la médecine et la recherche ;
- exposition résultant de l'utilisation, dans la vie quotidienne, de produits de grande diffusion contenant des sources de rayonnements ionisants ;
- exposition due aux sources de rayonnements naturelles et à des actes de la vie courante entraînant une augmentation de la dose provenant du fond naturel de rayonnements ;
- exposition résultant de l'utilisation de sources de rayonnements dans l'enseignement.

Evaluation de l'exposition

(212) Pour appliquer le système de limitation des doses à l'une des activités comportant une exposition de ce genre, il faut évaluer aussi bien les équivalents de dose individuels que les équivalents de dose collectifs. Afin de pouvoir comparer les équivalents de dose individuels aux limites correspondantes, les doses provenant du fond naturel de rayonnements ne seront pas comprises dans cette évaluation (voir paragraphes 89 et 90).

(213) L'évaluation de l'équivalent de dose individuel a pour but de s'assurer que l'exposition de tout individu reste dans les limites appropriées; aussi, cette évaluation devra-t-elle porter non sur la seule irradiation résultant de la pratique envisagée, mais sur l'irradiation totale résultant de l'ensemble des pratiques qui contribuent à l'exposition générale. L'évaluation de l'équivalent de dose collectif est faite essentiellement en vue d'apprécier la justification et l'optimisation de l'exposition ; elle peut donc être effectuée par rapport à la seule pratique envisagée.

(214) L'exposition des individus dépend d'un grand nombre de paramètres, les uns étant liés à leur mode de vie et à l'utilisation qu'ils font de l'environnement, les autres à leurs caractéristiques biologiques. Il n'est pas possible d'évaluer les valeurs de ces paramètres pour chacun des individus exposés, mais il est généralement possible d'identifier, au sein de la population exposée, des groupes plus petits composés d'individus dont les caractéristiques déterminantes pour l'exposition sont à peu près semblables.

(215) L'équivalent de dose reçu au niveau d'un organe ou d'un tissu déterminé par un groupe de population donné, sera habituellement évalué sur la base d'un échantillon représentatif. La dispersion des valeurs observées sera une indication de l'homogénéité de l'échantillon, et donc du groupe, et fournira une base statistique qui permettra de juger si le

groupe a été convenablement défini.

(216) Il est souvent possible d'identifier des groupes de population qui, en raison de leurs caractéristiques, seront soumis à une exposition plus élevée que le reste de la population exposée du fait d'une pratique donnée. L'exposition de ces groupes, appelés groupes critiques, peut alors être utilisée pour déterminer la limite supérieure des doses individuelles qui résultent de la pratique envisagée. Lorsque plusieurs pratiques peuvent contribuer de façon significative soit simultanément, soit successivement, à l'irradiation d'une même population, la définition des groupes critiques devra tenir compte de ces différentes contributions.

(217) Lorsque les opérations se prolongent dans le temps ou que l'exposition résulte d'une contamination de l'environnement, les équivalents de dose individuels et collectifs annuels peuvent augmenter jusqu'à un maximum au cours des années, même si les opérations se poursuivent à niveau constant. La valeur maximale correspond soit à l'établissement d'un état d'équilibre, soit au niveau atteint lorsqu'on met fin aux opérations considérées. C'est le maximum ainsi atteint par l'équivalent de dose moyen dans le groupe critique qui devrait être comparé à la limite d'équivalent de dose correspondante.

(218) Dans certains cas, il est également utile d'évaluer l'engagement d'équivalent de dose ou l'engagement d'équivalent de dose collectif. Ceux-ci peuvent être obtenus en intégrant dans le temps, jusqu'à l'infini, le débit d'équivalent de dose obtenu en moyenne sur toute la population exposée et le débit d'équivalent de dose collectif pour cette même population, ces débits résultant l'un et l'autre de l'utilisation d'une pratique donnée pendant un temps donné, souvent une année. Dans l'hypothèse où toutes les conditions qui déterminent l'exposition resteraient constantes, l'équivalent de dose moyen annuel et l'équivalent de dose collectif annuel atteindraient alors, à l'équilibre, des valeurs égales à l'engagement d'équivalent de dose et à l'engagement d'équivalent de dose collectif par année de pratique. Les paramètres qui devraient rester constants comprennent le niveau d'utilisation de la pratique, les caractéristiques de l'environnement, la taille de la population exposée et la manière dont l'environnement est utilisé. Dans certains cas, on prévoit que la pratique ne sera pas poursuivie pendant un temps suffisamment long pour permettre à l'équivalent de dose collectif annuel d'atteindre l'équilibre. Dans ce cas, il suffira d'intégrer le débit d'équivalent de dose collectif sur le temps que durera la pratique, puisque cette intégrale est égale à l'équivalent de dose collectif annuel maximal qui pourra résulter ultérieurement de cette pratique.

Prévention de l'exposition

Rejet de substances radioactives dans l'environnement. (220) La prévention de l'exposition qui résulte du rejet de substances radioactives dans l'environnement, repose sur :

- un contrôle des rejets d'effluents gazeux et liquides dans l'environnement ;

- un contrôle de l'évacuation des déchets solides dans l'environnement ;
- des dispositions propres à réduire la probabilité des accidents qui pourraient être à l'origine d'émissions de substances radioactives dans l'environnement et à limiter l'importance de ces émissions dans le cas où elles se produiraient.

(221) Sauf lorsqu'il s'agit d'activités insignifiantes, tous les rejets de substances radioactives dans l'environnement (y compris l'évacuation de déchets solides) devraient faire l'objet d'une autorisation donnée par l'autorité nationale compétente. Ces autorisations devraient être fondées sur des études préopérationnelles qui devraient, si nécessaire, comprendre une évaluation de l'engagement d'équivalent de dose pour les différents groupes de popuiation et, en particulier, pour le groupe critique, ainsi que des équivalents de dose collectifs et des engagements d'équivalent de dose collectif. Ces études devraient être effectuées à un stade précoce du projet alors qu'il est encore possible d'y apporter des modifications.

(222) Ces évaluations nécessitent l'emploi de modèles plus ou moins complexes, décrivant le cheminement des substances radioactives dans l'environnement depuis la source jusqu'à l'homme. Ces modèles devront tenir compte de la nature et de la forme physico-chimique des substances radioactives ainsi que des modalités de leur rejet. De plus, ces modèles devront refléter les caractéristiques de l'environnement et de l'homme qui conditionnent l'exposition des individus et des groupes. Lorsqu'on veut les rendre suffisamment détaillés et réalistes, ces modèles exigent des études extrêmement complexes qui demandent un effort considérable et, dans la pratique, il est raisonnable d'adapter l'ampleur de cet effort à l'importance du problème considéré ⁂.

(223) En pratique, la première étape consiste à faire une étude préliminaire simplifiée fondée sur les données existantes et, pour combler les lacunes qui existent toujours dans les données à ce stade, sur des hypothèses raisonnablement prudentes. Dans la grande majorité des cas, cette étude préliminaire montrera que les expositions qui pourraient résulter des rejets envisagés sont extrêmement faibles et que les informations dont on dispose déjà sont suffisantes pour la prise de décision. Dans quelques cas, cependant, l'étude préliminaire montrera qu'il est nécessaire de faire des études complémentaires, généralement d'ampleur limitée.

(224) Lorsqu'il apparaît que l'exposition sera significative, il sera généralement nécessaire de l'évaluer de façon plus précise et d'effectuer des études plus détaillées portant essentiellement sur la réduction des incertitudes mises en évidence par l'étude préliminaire.

(225) La relation qui existe entre le débit de rejet et l'exposition du groupe critique permet de déterminer, dans chaque cas, une limite dérivée

---

⁂ Ce sujet est étudié en détail dans un rapport en cours de préparation au Comité 4 de la CIPR.

de rejet.

(226) Les limites autorisées de rejet sont fixées par les autorités nationales à des valeurs qui sont généralement inférieures aux limites dérivées. Pour fixer ces limites, les autorités devraient appliquer le processus d'optimisation, de façon plus ou moins détaillée selon le cas, et tenir compte des autres sources d'exposition déjà existantes ou prévues.

(227) En raison des différents facteurs à considérer dans le processus d'optimisation, la limite autorisée pour le rejet total dans un secteur de l'environnement, qui reçoit les rejets de substances radioactives effectués par plusieurs installations, pourra être différente de la somme des limites optimisées qui conviendraient séparément pour chacune des installations. Lorsque plusieurs installations effectuent des rejets dans un même secteur de l'environnement, par exemple dans un même bassin fluvial, la limite dérivée de rejet devra être évaluée pour l'ensemble du secteur concerné.

Irradiation externe directe à partir de sources utilisées à des fins industrielles, médicales ou scientifiques. (228) La prévention de l'exposition est généralement assurée, dans ce cas, à l'aide de normes techniques afférentes aux sources. Dans certains cas, cependant, la prévention de l'exposition peut faire partie de la conception même d'un projet particulier. Lorsque la réduction de l'exposition est nécessaire, elle est généralement réalisée par la mise en place d'écrans, mais il peut être exceptionnellement nécessaire de définir, au voisinage de la source, une zone dont l'utilisation ou l'accès seront soumis à des restrictions.

Utilisation par le public de produits de grande diffusion. (229) Il est commode de distinguer deux catégories de produits :

- ceux qui comportent des dispositifs électroniques émettant des rayons X parasites ;
- ceux qui contiennent des substances radioactives.

(230) Ces deux catégories de produits posent des problèmes différents sur le plan de la prévention de l'exposition. Les produits de la première catégorie n'entraînent qu'un risque d'irradiation externe et cela seulement pendant leur fonctionnement. Pour la seconde catégorie, il faudra tenir compte également de la possibilité d'une contamination résultant de l'utilisation normale, d'incidents anormaux et de la mise au rebut.

(231) La prévention de l'exposition qui pourrait provenir de ces deux catégories de produits devrait être fondée sur un système de contrôle à l'échelon national, dont l'objectif serait de s'assurer que les expositions dues à chaque produit sont justifiées et, de plus, limitées de façon appropriée. Pour juger des conséquences de l'utilisation de tels produits, on se fondera généralement sur l'importance de l'équivalent de dose collectif qui en résulte, mais, dans certains cas, il faudra également tenir compte des équivalents de dose individuels. L'exposition ré-

sultant de l'utilisation d'un produit donné pourra souvent être réduite en agissant sur les caractéristiques de sa conception (par exemple, par le choix du radionucléide utilisé ou par l'introduction d'un écran de protection contre les rayons X).

(232) Il arrive souvent que les avantages d'une utilisation déterminée, bien que réels, soient très faibles, mais que l'exposition qui en résulte soit également très faible. Il est, dans ce cas, très difficile de faire une analyse quantitative de la situation et la décision finale sera souvent fondée sur un jugement qualitatif.

(233) Bien que l'exposition résultant de chaque type de produit de grande diffusion soit généralement faible, les autorités nationales devraient veiller à ce que l'exposition résultant de l'ensemble de leurs applications reste dans des limites qu'elles jugent acceptables.

(234) La limitation pratique des expositions dues à des produits dont l'utilisation est justifiée et autorisée, est obtenue par le respect des normes techniques portant sur les caractéristiques des produits et, dans certains cas, sur les conditions de leur emploi, ainsi que parfois par des prescriptions relatives aux modalités de leur mise au rebut éventuelle.

Pratiques élevant le niveau de l'irradiation naturelle. (235) Parmi les pratiques qui peuvent augmenter le niveau de l'irradiation due au fond naturel de rayonnements, on peut citer comme exemples :

- l'utilisation de certains matériaux dans la construction des bâtiments et des routes ;
- le vol à haute altitude ;
- la consommation d'eau et d'aliments dont la teneur en radioéléments naturels est anormalement élevée en raison de leur origine ou a été augmentée, par l'utilisation d'engrais par exemple.

(236) En appliquant le système de limitation de l'exposition, on devrait tenir compte seulement de la modification que la pratique considérée entraîne dans l'exposition et non du niveau d'exposition préexistant. La justification de la plupart des pratiques sous-jacentes (comme, par exemple, la construction de bâtiments) est évidente et la prévention de l'exposition se posera donc essentiellement en termes d'optimisation. Le processus d'optimisation conduit généralement à fixer des limites autorisées dans tout cas de quelque importance.

Utilisation de sources de rayonnements dans l'enseignement. (237) Il est important de faire une distinction entre deux sortes d'utilisations des sources de rayonnements dans l'enseignement :

- l'enseignement général des matières scientifiques ;
- l'enseignement de matières spécialisées dans le domaine des rayonnements et de leurs utilisations.

Dans le premier type d'utilisation, l'exposition résultant des démonstrations ou des expériences peut concerner un très grand nombre de

personnes et pourrait ainsi contribuer de façon significative à l'exposition générale. C'est pourquoi, la Commission recommande que l'équivalent de dose annuel reçu par tout élève pendant les cours n'excède pas un dixième des limites recommandées pour les personnes du public. Le deuxième type d'utilisation concerne un nombre de personnes nettement plus restreint et est analogue à une exposition professionnelle. Ce n'est qu'exceptionnellement que l'utilisation de sources de rayonnements dans ce genre d'enseignement exigera que les conditions de travail soient classées dans la catégorie des conditions de travail A (voir paragraphe 161). Les conditions de travail A ne devraient être autorisées que si les étudiants sont âgés de 18 ans ou plus. Les méthodes générales de prévention de l'exposition devraient être à peu près similaires à celles utilisées en cas d'exposition professionnelle; toutefois en l'absence de conditions de travail A, elles pourront être notablement simplifiées. On trouvera des recommandations plus détaillées à ce sujet dans la *Publication CIPR 13*.

Surveillance de l'exposition

Surveillance dans les conditions normales. (238) Les rejets de substances radioactives dans l'environnement devraient faire l'objet d'une surveillance appropriée permettant de démontrer que les limites de rejet autorisées sont respectées, à moins que d'autres formes d'évaluation ne montrent que cette surveillance est inutile. Pour les installations importantes, la surveillance des rejets peut également contribuer à la détection de situations anormales. Dans la plupart des autres cas, la surveillance des sources devrait permettre de s'assurer du respect des normes techniques et des dispositions fixées par les autorités nationales. De telles dispositions peuvent être spécialement prévues, par exemple, pour l'efficacité des écrans mis en place autour des sources, les caractéristiques des produits de consommation ainsi que le contrôle et la surveillance de leur distribution, ou la fixation de limites d'activité pour certains matériaux de construction.

(239) Dans quelques cas, essentiellement constitués par ceux où l'exposition résulte du rejet de substances radioactives dans l'environnement, il peut être nécessaire de compléter la surveillance des sources par une surveillance du secteur concerné de l'environnement. Celle-ci peut également être utile pour vérifier la validité des modèles utilisés pour la prévision de l'exposition. La mise en oeuvre d'une surveillance de l'environnement n'est nécessaire que dans les cas peu nombreux où les études préopérationnelles ont montré que l'installation pourrait être à l'origine d'une exposition non négligeable des personnes du public. Il peut également arriver, dans certains cas, que plusieurs installations effectuent des rejets de substances radioactives dans le même secteur de l'environnement et, même si chacune d'elles est isolément à l'origine d'un rejet négligeable, leur conjonction peut rendre nécessaire la mise en oeuvre d'un programme de surveillance de l'environnement dont l'ampleur sera généralement limitée.

(240) La surveillance de l'exposition générale du public ne comprendra habituellement pas de surveillance individuelle, excepté dans certains cas d'utilisation de sources de rayonnements dans l'enseignement. Dans l'enseignement spécialisé portant sur les caractéristiques ou l'utilisation des sources de rayonnements, une surveillance individuelle pourrait être justifiée par les niveaux d'exposition qui pourraient être atteints ou par le fait qu'elle constitue un bon prélude à des habitudes de travail correctes par la suite.

Surveillance dans des circonstances anormales. (241) Dans des circonstances anormales par suite, par exemple, d'un accident survenant dans une installation ou au cours d'un transport, il peut être nécessaire de mettre en oeuvre une surveillance lorsque des substances radioactives ont pu être libérées dans l'environnement en quantités susceptibles d'entraîner une exposition non négligeable de personnes du public. Cette surveillance a pour objectif primordial de recueillir les informations nécessaires pour apprécier la situation et pour décider d'une éventuelle intervention. Elle devrait également fournir des données permettant d'évaluer l'exposition des personnes du public, compte tenu des contre-mesures éventuellement mises en oeuvre. Enfin, elle devrait permettre de recueillir des informations scientifiques en vue de mieux prévoir les conséquences de telles situations. Ce programme de surveillance devrait être établi, au moins dans ses grandes lignes, au moment de la première mise en fonctionnement d'une installation ou lorsqu'on considère pour la première fois une série d'opérations de transport.

Intervention

(242) La forme que devrait prendre une intervention propre à limiter une exposition anormale des personnes du public dépendra des circonstances. Toutes les contre-mesures qui peuvent être prises pour réduire l'exposition des personnes du public après un rejet accidentel de substances radioactives comportent un détriment pour les personnes concernées, qu'il s'agisse d'un risque sur le plan sanitaire ou d'un certain bouleversement sur le plan social. La décision d'engager une contre-mesure devrait donc être fondée sur un bilan entre le détriment qu'elle comporte et la réduction d'exposition qu'elle permet d'obtenir. L'importance du détriment entraîné par les contre-mesures variera avec leur nature et avec les circonstances dans lesquelles elles seront appliquées; ainsi elle variera, par exemple, avec la taille de la population concernée. Leur efficacité, d'autre part, dépendra de la rapidité avec laquelle elles pourront être mises en oeuvre. Ces raisons font qu'il n'est pas possible de fixer des niveaux d'intervention de portée générale, au-dessus desquels une intervention serait toujours nécessaire. Toutefois, il serait peut-être possible de fixer des niveaux au-dessous desquels une intervention ne serait généralement pas considérée comme justifiée. Les niveaux d'intervention dépendront des circonstances particulières de chaque cas et ne peuvent donc être donnés qu'à titre indicatif. La décision d'appliquer des contre-mesures devrait être prise à la lumière de toutes les informations disponibles au moment voulu. Les niveaux d'intervention sont exprimés en termes d'équivalents de dose individuels ou d'incorpo-

rations. Il sera souvent utile, en pratique, de prévoir des niveaux d'intervention dérivés s'appliquant aux résultats de certaines des mesures effectuées dans le cadre du programme de surveillance spéciale.

(243) Pour être efficace, l'intervention doit être préparée à l'avance. Un plan d'urgence devrait donc être établi dans tous les cas où des membres de la population pourraient être soumis à une exposition accidentelle non négligeable. Le plan d'urgence devrait prévoir :

- la surveillance spéciale à mettre en oeuvre pour évaluer la situation (voir paragraphe 241) ;
- les contre-mesures à prendre pour réduire l'exposition des personnes du public et les moyens nécessaires à leur mise en oeuvre;
- les niveaux d'intervention et les niveaux d'intervention dérivés, à titre indicatif pour les différentes contre-mesures.

Le plan d'urgence devrait être fondé sur une étude des conséquences radiologiques des rejets consécutifs à un accident de référence. Pour évaluer ces conséquences, il conviendrait d'utiliser une méthode analogue à celle décrite aux paragraphes 222-234 pour les rejets effectués en fonctionnement normal. Le plan d'urgence devrait être suffisamment souple pour pouvoir être adapté aux conditions réelles qui différeront, elles, des conditions prévues. Les niveaux d'intervention et les niveaux d'intervention dérivés, en particulier, ne devraient pas être appliqués de façon automatique; ils ne devraient être considérés que comme des niveaux de référence servant à orienter la prise de décision et devraient être réexaminés à la lumière des informations disponibles au moment de l'intervention.