

PROTECTION RADIOLOGIQUE

CIPR PUBLICATION 60

Recommandations 1990 de la Commission Internationale de Protection Radiologique

ADOPTÉES PAR LA COMMISSION EN NOVEMBRE 1990

Edition en langue française supervisée par H. JAMMET, Vice-Président de la CIPR

PUBLIÉES POUR

La Commission Internationale de Protection Radiologique

par



PERGAMON PRESS

OXFORD · NEW YORK · SEOUL · TOKYO

GB	Pergamon Press Ltd, Headington Hill Hall, Oxford OX3 0BW, Grande-Bretagne
ETATS-UNIS	Pergamon Press Inc., 660 White Plains Road, Tarrytown, New York 10591-5153, Etats-Unis
JAPON	Pergamon Press Japan, Tsunashima Building Annex, 3-20-12 Yushima, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japon
COREE	Pergamon Press Korea, KPO Box 315, Seoul 110-603, Corée

Copyright © 1993 La Commission Internationale de Protection Radiologique

La Commission Internationale de Protection Radiologique encourage la publication de traductions de ce rapport. La permission pour ces traductions et leur publication sera en principe donnée gratuitement. Aucune partie de cette publication ne pourra être reproduite, conservée dans un système de recherche ou transmise sous quelque forme que se soit ou par quelque moyen que se soit, électronique, électrostatique, bande magnétique, mécanique, photocopie, enregistrement ou autres, ou republiée sous quelque forme que se soit, sans la permission écrite du propriétaire des droits d'auteur.

Première édition 1993
ISBN 0 08 042275 6

Publié sous le Volume 21, Numéros 1 à 3 et fourni aux abonnés.

Les éditeurs et le bureau de rédaction faisant tous les efforts possibles pour qu'aucune donnée, opinion ou déclaration inexacte ou trompeuse n'apparaisse dans ce journal, ils souhaitent préciser que les données et les opinions apparaissant dans les articles et les annexes ci-joints relèvent uniquement de la responsabilité des personnes concernées y ayant contribué. En conséquence, les éditeurs, le bureau de rédaction, les rédacteurs et leurs employés, membres et agents respectifs n'acceptent aucune responsabilité quelle qu'elle soit quant aux conséquences de toute donnée, opinion ou déclaration inexacte ou trompeuse.

Sélection des médicaments et des doses: Les auteurs ont fait tous les efforts possibles pour assurer l'exactitude des informations, particulièrement en ce qui concerne la sélection des médicaments et des doses. Cependant, des sources d'information appropriées devraient être consultées, particulièrement pour les médicaments ou les procédures nouvelles ou peu familières. Chaque médecin a la responsabilité d'évaluer la justesse d'une opinion particulière dans le contexte de situations cliniques réelles et en tenant compte des derniers développements.

REMERCIEMENTS

En tant que Vice-Président de la Commission Internationale de Protection Radiologique, j'ai souhaité, ainsi que les autres membres français des comités CIPR, André Bouville, Alain Laugier, Henri Métivier, Nicole Parmentier et Pierre Pellerin, que soit éditée une traduction française des Recommandations Générales de la Commission Internationale de Protection Radiologique parues en langue anglaise dans les Annales ICRP N° 60, 1990.

Je tiens à remercier tout d'abord l'éditeur Pergamon Press de son acceptation d'assurer la parution de cette traduction française dans la même forme que l'édition anglaise.

Cette édition en langue française n'aurait pu paraître sans le soutien financier du comité opérationnel de radioprotection comprenant les exploitants nucléaires (CEA, COGEMA, EDF) et l'IPSN, auquel il convient de rendre hommage pour la diffusion de ce document important.

La traduction littérale initiale a été effectuée par Marie-Laure Deplaix, qui en outre a assuré la tâche délicate d'apporter toutes les corrections et la mise en forme définitive; elle mérite amplement notre gratitude.

Un comité de relecture a été constitué par Annie Sugier sous la responsabilité de Jacques Lafuma et de René Coulon. René Coulon a assuré la lourde charge de coordonner l'ensemble des actions entreprises.

Ont participé à ce comité pour la révision du texte principal, du sommaire et des annexes les personnalités suivantes citées par ordre alphabétique: Paul Beau; René Coulon; Louis Fitoussi; Jean Hamard; Philippe Hubert; Jacques Lafuma; Guy Lemaire; Jacques Lochard; Jean-Claude Nenot; Jean Piechowski; Monique Roy.

Que soient sincèrement remerciées toutes ces personnes qui ont apporté leurs connaissances et leurs compétences pour essayer d'exprimer correctement l'esprit de ce texte complexe et d'en respecter la forme autant que possible.

H. P. JAMMET

TABLE DES MATIERES

	Paragraphe
Preface	2
1. Introduction	3
1.1. Historique de la Commission	3
1.2. L'élaboration des recommandations de la Commission	6
1.3. Les objectifs de ce rapport	10
1.4. Les domaines d'application des recommandations de la Commission	13
2. Les Grandeurs Utilisées en Protection Radiologique	17
2.1. Introduction	17
2.2. Les grandeurs dosimétriques fondamentales	22
2.2.1. Les facteurs de pondération pour les rayonnements	23
2.2.2. La dose équivalente	24
2.2.3. Les facteurs de pondération pour les tissus et la dose efficace	27
2.3. Grandeurs dosimétriques complémentaires	33
2.4. Autres grandeurs	37
3. Aspects Biologiques de la Protection Radiologique	42
3.1. Introduction	42
3.2. Les effets biologiques des rayonnements ionisants	44
3.3. Le concept de détriment	47
3.4. L'estimation quantitative des conséquences des expositions aux rayonnements	52
3.4.1. Les effets déterministes	54
3.4.2. Les effets stochastiques chez les individus exposés	62
3.4.3. Les effets stochastiques chez les descendants	87
3.4.4. Les effets de l'exposition "in utéro"	90
3.5. Les facteurs de pondération pour les tissus	94
4. Le Cadre Conceptuel de la Protection Radiologique	99
4.1. Le cadre général	99
4.2. Le système de protection radiologique	112
4.3. La protection radiologique pour les pratiques en cours et envisagées	115
4.3.1. La justification des pratiques	115
4.3.2. L'optimisation de la protection	117
4.3.3. Les limites de dose individuelles	122
4.3.4. Les expositions potentielles	127
4.4. La protection radiologique au moyen de l'intervention	130
4.5. L'évaluation de l'efficacité d'un système de protection	132
5. Le Système de Protection pour les Pratiques en Cours et Envisagées	133
5.1. Les catégories d'exposition	134
5.1.1. L'exposition professionnelle	134
5.1.2. L'exposition médicale	139

5.1.3. L'exposition du public	140
5.2. L'application du système de protection	141
5.3. Le système de protection pour l'exposition professionnelle	144
5.3.1. L'optimisation de la protection pour l'exposition professionnelle	144
5.3.2. Les limites de dose pour l'exposition professionnelle	147
5.3.3. L'exposition professionnelle des femmes	176
5.4. Le système de protection pour l'exposition médicale	179
5.4.1. La justification d'une pratique pour l'exposition médicale	179
5.4.2. L'optimisation de la protection pour l'exposition médicale	180
5.4.3. Les limites de dose pour l'exposition médicale	182
5.4.4. L'exposition médicale des femmes enceintes	184
5.5. Le système de protection pour l'exposition du public	185
5.5.1. L'optimisation de la protection pour l'exposition du public	186
5.5.2. Les limites de dose pour l'exposition du public	188
5.6. Les expositions potentielles	195
5.6.1. La justification d'une pratique	202
5.6.2. L'optimisation de la protection	203
5.6.3. Les limites et contraintes pour le risque individuel	204
5.7. Les situations avec interaction	207
6. Le Système de Protection en Cas d'Intervention	210
6.1. Les bases de l'intervention en cas d'exposition du public	211
6.2. Les situations dans lesquelles une action corrective peut être nécessaire	215
6.2.1. Le radon dans les habitations	216
6.2.2. La radioactivité résiduelle provenant d'opérations antérieures	219
6.3. Accidents et situations d'urgence	220
6.3.1. Les interventions concernant le public	220
6.3.2. La limitation de l'exposition professionnelle en situation d'urgence	224
7. L'Application des Recommandations de la Commission	226
7.1. Responsabilité et autorité	230
7.2. Les Recommandations de la Commission	234
7.3. Les Obligations réglementaires	236
7.3.1. La réglementation des pratiques	238
7.3.2. La réglementation dans le contexte des expositions potentielles	244
7.4. Les obligations opérationnelles	247
7.4.1. La classification des lieux et conditions de travail	251
7.4.2. Les guides opérationnels	254
7.4.3. Les niveaux de référence	257
7.4.4. Les services pour la protection et la santé des travailleurs	258
7.5. L'évaluation des doses	264
7.5.1. Les expositions professionnelles	266
7.5.2. Les expositions médicales	272
7.5.3. L'exposition du public	273
7.6. L'évaluation de la qualité de la protection	276
7.6.1. L'archivage des sources	277
7.7. L'organisation en cas d'urgence	278
7.8. Les exemptions et les exclusions du champ réglementaire	285

Résumé des recommandations	S1
Introduction	S1
Les grandeurs utilisées en protection radiologique	S2
Les aspects biologiques de la protection radiologique	S5
Le cadre conceptuel de la protection radiologique	S14
La maîtrise de l'exposition professionnelle	S21
La maîtrise de l'exposition médicale	S33
La maîtrise de l'exposition du public	S38
Les expositions potentielles	S43
Le système de protection en cas d'intervention	S46
Le radon dans les habitations	S47
L'intervention en cas d'accident	S49
L'application des recommandations de la Commission	S51
	Page
Tableau S-1. Les facteurs de pondération pour les rayonnements	71
Tableau S-2. Les facteurs de pondération pour les tissus	72
Tableau S-3. Les coefficients de référence pour l'évaluation des effets stochastiques par unité de dose	74
Tableau S-4. Les limites de dose recommandées	76
Tableau 1. Facteurs de pondération pour les rayonnements	6
Tableau 2. Les facteurs de pondération pour les tissus	8
Tableau 3. Les coefficients de référence pour l'évaluation des effets stochastiques par unité de dose	23
Tableau 4. Les coefficients de référence pour les tissus et organes par unité de dose	25
Tableau 5. Dimensions du détriment associé à l'exposition d'une population de travailleurs	40
Tableau 6. Les limites de dose recommandées	48
Figure 1. Les facteurs de pondération pour les neutrons	7
Figure 2. Les probabilité de décès à un âge donné attribuables à une exposition continue entre 18 et 65 ans	40
ANNEXE A Les Grandeurs Utilisées en Protection Radiologique	33
ANNEXE B Les effets Biologiques des Rayonnements Ionisants	95
ANNEXE C Les Eléments pour l'Appréciation des Effets des Rayonnements	171
ANNEXE D Liste des Publications de la Commission	205

PREFACE

(1) Depuis 1977, date à laquelle la Commission publia ses recommandations générales dans la *Publications 26*, celles-ci furent revues chaque année et périodiquement des "Déclarations" supplémentaires parurent dans les *Annales de la CIPR*. Une liste complète des publications de la Commission est fournie dans l'annexe D. Les nouveaux développements survenus ces dernières années ont rendu nécessaire la publication d'une nouvelle version des recommandations. Ce faisant, la Commission a gardé à l'esprit trois objectifs:

- (a) prendre en compte les nouvelles données biologiques et les tendances actuelles dans l'établissement des règles de sécurité,
- (b) améliorer la présentation des recommandations,
- (c) maintenir le maximum de stabilité dans les recommandations tout en restant compatible avec les nouvelles informations.

(2) Le texte de ces recommandations a été préparé par un groupe de travail dont les membres nommés par la Commission 1985-1989 étaient les suivants:

D. Beninson (Président)	Président de la Commission
H. Jammet	Vice-Président de la Commission
W.K. Sinclair	Président du Comité 1
C.B. Meinhold	Président du Comité 2
J. Liniecki	Président du Comité 3
H.J. Dunster	Président du Comité 4 jusqu'en 1989
R.H. Clarke	Président du Comité 4 à partir de 1989
B. Lindell	Membre Honoraire de la Commission
H. Smith (Secrétaire)	Secrétaire Scientifique de la Commission

Le texte fut discuté et adopté par la Commission 1989-1993 en Novembre 1990.

MEMBRES DE LA COMMISSION, 1985-89		MEMBRES DE LA COMMISSION, 1989-93	
D. Beninson	Président	D. Beninson	Président
H. Jammet	Vice-Président	H. Jammet	Vice-Président
R. J. Berry		R. H. Clarke	Président du Comité 4
H. J. Dunster	Président du Comité 4	H. J. Dunster	
W. Jacobi		A. K. Guskowa	
D. Li		W. Jacobi	
J. Liniecki	Président du Comité 3	D. Li	
C. B. Meinhold	Président du Comité 2	J. Liniecki	Président du Comité 3
A. K. Poznanski		C. B. Meinhold	Président du Comité 2
P. V. Ramzaev		F. Mettler	
G. Silini		I. Shigematsu	
W. K. Sinclair	Président du Comité 1	G. Silini	
E. Tajima		W. K. Sinclair	Président du Comité 1
H. Smith	Secrétaire Scientifique	H. Smith	Secrétaire Scientifique

1. INTRODUCTION

Le Chapitre 1 présente l'historique de la Commission et de ses recommandations. Il précise les objectifs et la forme de ce rapport et indique les raisons qui font que la Commission ne s'intéresse qu'à la protection de l'homme, et uniquement dans le cas des rayonnements ionisants. Une liste des publications de la Commission figure dans l'Annexe D.

1.1. Historique de la Commission

(3) La Commission Internationale de Protection Radiologique, dénommée dans la suite du texte "la Commission" a été créée en 1928 sous le nom de Comité International de Protection contre les Rayons X et le Radium, à la suite d'une décision du deuxième Congrès International de Radiologie. En 1950, elle a été restructurée et rebaptisée. La Commission maintient toujours des rapports privilégiés avec le Congrès à l'occasion de ses réunions qui ont lieu tous les quatre ans et avec la Société Internationale de Radiologie. Au cours des années, elle a beaucoup élargi son domaine d'intérêt pour tenir compte des utilisations croissantes des rayonnements ionisants et des pratiques qui génèrent des rayonnements et des matières radioactives.

(4) La Commission travaille en relation étroite avec son organisation jumelle, la Commission Internationale des Unités et Mesures Radiologiques, et a des relations officielles avec l'Organisation Mondiale de la Santé et l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique. Elle a également des relations importantes avec l'Organisation Internationale du Travail et d'autres organisations des Nations-Unies dont le Comité Scientifique des Nations-Unies pour l'Etude des Effets des Rayonnements Ionisants, le Programme des Nations-Unies pour l'Environnement, ainsi qu'avec la Commission des Communautés Européennes, l'Agence de l'Energie Nucléaire de l'Organisation pour la Coopération et le Développement Economique, l'Organisation Internationale de Normalisation, la Commission Electrotechnique Internationale et l'Association Internationale de Radioprotection. Elle prend en compte les avancées rapportées par les principales organisations nationales.

(5) La Commission a publié son premier rapport en 1928. Le premier rapport de la série actuelle, renuméroté *Publication 1* (1959), contenait les recommandations approuvées en septembre 1958. Des recommandations générales ont été présentées ultérieurement dans les *Publications 6* (1964), *9* (1966) et *26* (1977). La *Publication 26* fut amendée et élargie par une Déclaration en 1978 et de nouveau clarifiée et élargie par d'autres Déclarations quelques années plus tard (1980, 1983, 1984, 1985 et 1987). Des rapports sur des sujets plus spécialisés ont été publiés dans l'intervalle et postérieurement numérotés en conséquence (Annexe D).

1.2. L'Elaboration des Recommandations de la Commission

(6) La méthode de travail de la Commission n'a pas beaucoup changé durant ces dernières décennies. Etant donné qu'il n'y a pas, ou peu, de preuves directes de dommages pour des doses annuelles inférieures ou égales aux limites recommandées par la Commission, un jugement scientifique est nécessaire pour prévoir la probabilité de dommages résultant de faibles doses. La plupart des données observées ont été obtenues à des doses plus élevées et généralement à des débits de dose élevés. La Commission entend s'appuyer sur un large éventail de compétences venant de sources extérieures ainsi que de ses propres Comités et Groupes de Travail et atteindre ainsi un consensus raisonnable sur les conséquences des expositions aux rayonne-

ments. Elle n'a pas trouvé approprié d'utiliser l'interprétation la plus pessimiste ou la plus optimiste des données disponibles, mais elle a voulu utiliser des estimations qui ont peu de chance de sous-estimer les conséquences des expositions. L'estimation de ces conséquences et de leurs implications nécessite obligatoirement des jugements de valeur dans les domaines sociaux et économiques ainsi que dans un grand nombre de disciplines scientifiques. La Commission a voulu rendre les bases de tels jugements aussi claires que possibles, mais elle reconnaît que d'autres peuvent souhaiter atteindre leurs propres conclusions sur beaucoup de ces problèmes.

(7) La Commission a constaté que ses recommandations avaient été utilisées par les autorités réglementaires ainsi que par des responsables opérationnels et leurs appuis techniques. En raison de la grande diversité des situations dans lesquelles les recommandations de la Commission peuvent être appliquées, le degré de détail a été délibérément limité. Cependant la Commission ayant toujours gardé des liens historiques avec la radiologie médicale, ses avis dans ce domaine ont souvent été plus détaillés.

(8) Les recommandations de la Commission ont aidé à fournir une base solide pour l'établissement des normes réglementaires nationales et régionales. Pour sa part, la Commission s'est attachée à maintenir une continuité dans ses recommandations. Elle pense que des changements fréquents ne mèneraient qu'à la confusion. La Commission réexamine les nouvelles données publiées chaque année et les compare aux très nombreuses données déjà accumulées. Il est peu probable que des changements radicaux en résultent, mais, si de nouvelles données devaient montrer qu'il faut modifier les recommandations existantes, la Commission réagirait rapidement.

(9) Pendant ces dernières décennies, on a constaté une évolution importante des éléments essentiels relatifs à la présentation et à l'application du système de protection recommandé par la Commission. Au départ et pendant une partie des années 1950, on avait tendance à considérer le respect des limites de doses individuelles comme un résultat satisfaisant. La recommandation de maintenir toutes les expositions à un niveau aussi bas que possible était reconnue mais rarement appliquée consciemment. Depuis, on a beaucoup plus insisté sur le besoin de maintenir toutes les expositions "aussi bas que possible, compte tenu des facteurs économiques et sociaux". Cette exigence a eu pour effet de diminuer considérablement les doses individuelles et de restreindre le nombre de situations dans lesquelles les limites de dose jouent un rôle majeur dans l'ensemble du système de protection. Elle a aussi changé la finalité des limites de dose recommandées par la Commission. Initialement leur principale fonction était d'éviter l'apparition d'effets non cancéreux. Par la suite, elles furent aussi destinées à limiter la fréquence des cancers et des effets héréditaires radio-induits. Au cours des années, les limites ont été exprimées de diverses façons, de sorte que les comparaisons sont difficiles. Schématiquement, la limite annuelle pour l'exposition professionnelle au corps entier a été réduite d'un facteur trois environ entre 1934 et 1950 puis d'un second facteur trois pour l'amener à 50 mSv en 1958.

1.3. Les Objectifs de ce Rapport

(10) La Commission considère ce rapport comme devant aider les autorités réglementaires et consultatives aux niveaux nationaux, régionaux et internationaux en fournissant des orientations sur les principes fondamentaux sur lesquels on peut baser une protection radiologique pertinente. Compte tenu des conditions différentes qui prévalent dans les divers pays, la Commission n'entend pas fournir de texte réglementaire. Les autorités devront développer leurs propres systèmes de législation, de réglementation, d'autorisation, de codes de pratique et de guides en accord avec leurs pratiques et leurs politiques habituelles. La Commission estime que ces systèmes réglementaires doivent être conçus de façon à être

compatibles avec les recommandations contenues dans ce rapport. De plus, la Commission espère que ce rapport aidera les opérateurs ayant des responsabilités dans la protection radiologique, dans leurs propres entreprises, ainsi que ceux qui les assistent, de même que ceux qui, comme les radiologues, doivent prendre des décisions pour l'utilisation des rayonnements ionisants.

(11) La Commission a donc présenté ses recommandations sous la forme d'un texte principal s'appuyant sur des annexes plus détaillées. Le texte principal contient toutes les recommandations ainsi que les explications suffisantes pour éclairer les raisonnements sous-jacents. Il est destiné à être utilisé par les personnes concernées par la politique de protection qui peuvent aussi se référer aux annexes si elles ont besoin d'informations plus détaillées sur certains points. Les spécialistes pourront se référer au texte principal ainsi qu'aux annexes.

(12) Les Chapitres 2 et 3 traitent des grandeurs et unités utilisées en protection radiologique ainsi que des effets biologiques des radiations. Le Chapitre 4 décrit le cadre conceptuel de la protection radiologique et introduit les Chapitres 5 et 6 qui traitent des principales recommandations de la Commission. Le Chapitre 7 traite de l'application des recommandations. Enfin, un résumé des recommandations termine le rapport.

1.4. Les Domaines d'Application des Recommandations de la Commission

(13) L'ionisation est le processus par lequel les atomes perdent ou parfois gagnent des électrons et deviennent ainsi électriquement chargés: on parle alors "d'ions". Pour décrire le transfert d'énergie à travers l'espace sous la forme, soit d'ondes électromagnétiques, soit de particules subatomiques qui sont capables de provoquer des ionisations dans la matière, on utilise le terme "rayonnement ionisant". Quand le rayonnement ionisant traverse la matière, de l'énergie lui est cédée tandis que des ions sont formés.

(14) Comme dans les rapports précédents, les recommandations de la Commission se limitent à la protection contre les rayonnements ionisants. La Commission reconnaît l'importance d'un contrôle adéquat des sources de rayonnements non-ionisants mais continue de considérer que ce sujet n'est pas de son domaine de compétence. Elle reconnaît aussi que cette focalisation sur un seul des nombreux dangers qui menacent l'humanité peut être involontairement un élément d'anxiété. La Commission souhaite donc insister sur le fait que les rayonnements ionisants doivent être traités avec attention plutôt qu'avec crainte et que les risques associés devraient être mis en perspective avec les autres risques. Les procédures dont on dispose pour contrôler les expositions au rayonnement ionisant suffisent, si elles sont correctement utilisées, pour garantir que les radiations restent une composante mineure de l'éventail des risques auxquels nous sommes tous exposés.

(15) Les rayonnements ionisants et les substances radioactives ont toujours fait partie de notre environnement, mais, du fait qu'ils ne sont pas perçus par nos sens, nous ne nous sommes rendus compte de leur existence que depuis la fin du 19^{ième} siècle. Depuis, de nombreuses et importantes utilisations leur ont été trouvées et de nouveaux procédés technologiques qui les créent soit délibérément, soit en tant que résidus, ont été développés. L'objectif premier de la protection radiologique est d'assurer un niveau de protection adéquat pour l'homme, sans pénaliser indûment des pratiques bénéfiques qui entraînent une exposition aux rayonnements. Cet objectif ne peut pas être atteint sur la seule base de concepts scientifiques. Toutes les personnes concernées par la protection radiologique doivent apprécier l'importance relative des différents types de risques et juger de l'équilibre entre les risques et les bénéfices. En cela elles ne sont aucunement différentes des personnes travaillant dans d'autres domaines et concernées par la maîtrise des risques.

(16) La Commission pense que le niveau de maîtrise de l'environnement nécessaire pour protéger l'homme à un degré estimé aujourd'hui comme valable permettra aux autres espèces de ne pas être en danger. Certaines espèces animales pourraient être atteintes occasionnellement mais pas au point de mettre en danger toute l'espèce ou de créer un déséquilibre entre les espèces. Pour le moment, la Commission ne s'intéresse à l'environnement qu'en tant que vecteur des radionucléides vers l'homme, puisque cela affecte directement la protection radiologique des êtres humains.

2. LES GRANDEURS UTILISEES EN PROTECTION RADIOLOGIQUE

Le Chapitre 2 explique en termes simples les principales grandeurs utilisées en protection radiologique. Les définitions officielles et des informations plus détaillées sont données dans l'Annexe A.

2.1. Introduction

(17) Historiquement, les grandeurs utilisées pour mesurer la "quantité" de rayonnement ionisant (appelé "rayonnement" dans ce rapport) ont été basées sur le nombre total d'événements ionisants dans une situation donnée ou sur la quantité totale d'énergie déposée, généralement dans une masse définie de matière. Ces approches oublient de considérer la nature discontinue du processus d'ionisation, mais sont justifiées empiriquement par l'observation selon laquelle les grandeurs globales (avec des ajustement pour les différents types de rayonnements) sont assez bien corrélées avec les effets biologiques résultants.

(18) Des développements futurs pourraient démontrer par exemple qu'il serait plus approprié d'utiliser d'autres grandeurs basées sur la distribution statistique d'événements dans un petit volume de matière correspondant aux dimensions d'entités biologiques comme le noyau de la cellule ou son ADN moléculaire. En attendant, la Commission continue de recommander l'utilisation de quantités macroscopiques. Celles-ci, parmi d'autres, sont décrites dans l'Annexe A et sont connues sous le nom de grandeurs dosimétriques. Elles ont été définies de façon formelle par la Commission Internationale des Unités et Mesures Radiologiques.

(19) Avant de parler des grandeurs dosimétriques, il est nécessaire d'anticiper sur certaines informations relatives aux effets biologiques des rayonnements décrits dans le Chapitre 3. Le processus d'ionisation transforme obligatoirement les atomes et les molécules, au moins passagèrement, et peut ainsi parfois endommager les cellules. Si des dommages cellulaires se produisent, et ne sont pas correctement réparés, cela peut empêcher les cellules de survivre ou de se reproduire, ou bien peut conduire à une cellule viable mais transformée. Ces deux résultats ont des implications profondément différentes pour l'organisme dans son ensemble.

(20) La plupart des organes et des tissus du corps ne sont pas affectés par la perte d'un nombre même considérable de cellules, mais si le nombre de cellules perdues est suffisamment important, on observera une atteinte à la santé reflétant une perte de fonction du tissu. La probabilité qu'une telle atteinte à la santé soit causée sera nulle à doses faibles, mais au-dessus d'un certain niveau de dose (le seuil), elle augmentera progressivement jusqu'à l'unité (100%). Au-dessus du seuil, le degré de gravité de l'atteinte à la santé augmentera aussi avec la dose. Pour des raisons expliquées dans la Section 3.4.1, ce type d'effet, précédemment appelé "non-stochastique", est maintenant appelé "déterministe" par la Commission.

(21) Le résultat est très différent si la cellule est modifiée plutôt que détruite. Malgré l'existence de mécanismes de défense extrêmement efficaces, le clone de cellules résultant de la

reproduction d'une cellule somatique transformée mais viable peut très bien aboutir, après un délai prolongé et variable appelé période de latence, à l'apparition d'un cancer. La probabilité d'apparition d'un cancer résultant d'une irradiation augmente généralement lorsque les doses augmentent, probablement sans seuil, et d'une façon qui est à peu près proportionnelle à la dose, au moins pour les doses se trouvant bien en-dessous des seuils pour les effets déterministes. La gravité du cancer n'est pas affectée par la dose. Ce type d'effet est appelé "stochastique", c'est-à-dire "de nature hasardeuse ou statistique". Si le dommage se produit dans une cellule qui a pour fonction de transmettre des informations génétiques aux générations suivantes, tous les effets résultants, qui peuvent être de plusieurs sortes et de gravité différente, apparaissent chez les descendants de la personne exposée. Ce type d'effet stochastique est appelé "héréditaire".

2.2. Les Grandeurs Dosimétriques Fondamentales

(22) En protection radiologique, la grandeur dosimétrique fondamentale est la dose absorbée, D . C'est l'énergie absorbée par unité de masse et son unité est le joule par kilogramme, à qui on a donné le nom spécial de gray (Gy). La dose absorbée est définie en termes qui lui permettent d'être spécifiée en un point, mais dans ce rapport, elle est utilisée dans le sens de dose moyenne pour un tissu ou un organe. L'utilisation de la dose moyenne comme indicateur de la probabilité d'apparition d'effets stochastiques ultérieurs dépend de la linéarité de la relation entre la probabilité d'induction d'un effet et la dose (la relation dose-réponse)—approximation raisonnable pour une gamme de dose limitée. La relation dose-réponse n'est pas linéaire pour les effets déterministes de telle sorte que la dose absorbée moyenne n'est pas directement significative des effets déterministes sauf si la dose est relativement distribuée uniformément dans le tissu ou l'organe.

2.2.1. Les facteurs de pondération pour les rayonnements

(23) On a trouvé que la probabilité d'apparition d'effets stochastiques dépend non seulement de la dose absorbée, mais aussi du type et de l'énergie du rayonnement produisant la dose. Cela est pris en compte en pondérant la dose absorbée par un facteur lié à la qualité de la radiation. Dans le passé, ce facteur de pondération a été appliqué à la dose absorbée en un point et a été appelé facteur de qualité Q . La dose absorbée pondérée était appelée équivalent de dose, H .

2.2.2. La dose équivalente

(24) En protection radiologique, l'intérêt réside dans la dose absorbée moyenne dans un tissu ou un organe (plutôt qu'en un point), et pondérée pour la qualité du rayonnement. Pour cette raison, le facteur de pondération est maintenant appelé **facteur de pondération pour les rayonnements**, w_R , il est sélectionné pour le type et l'énergie du rayonnement incident sur le corps ou, dans le cas de sources à l'intérieur du corps, émis par la source. Cette dose absorbée pondérée est strictement une dose, et la Commission a décidé de revenir au nom précédent de **dose équivalente** dans un tissu ou un organe, et d'utiliser le symbole H_T . Le changement de nom sert aussi à indiquer le passage du "facteur de qualité" à celui de "facteur de pondération pour le rayonnement". La dose équivalente dans le tissu T est donnée par l'expression:

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

où $D_{T,R}$ est la dose absorbée moyenne dans le tissu ou l'organe T, due au rayonnement R. L'unité de dose équivalente est le joule par kilogramme doté du nom spécial de sievert (Sv).

(25) La valeur du facteur de pondération pour les rayonnements pour un type et une énergie

de rayonnement donnés a été choisi par la Commission pour être représentative des valeurs de l'efficacité biologique relative de ce rayonnement dans le déclenchement d'effets stochastiques à des doses faibles. L'efficacité biologique relative (EBR) d'un rayonnement comparée à une autre est le rapport inverse des doses absorbées produisant un effet biologique de même importance. Les valeurs de w_R sont tout à fait compatibles avec celles de Q , qui sont liées à la grandeur "transfert d'énergie linéique" (TEL), qui mesure la densité d'ionisation le long du chemin d'une particule ionisante. Cette relation n'était au départ destinée qu'à fournir une indication grossière de variation a des valeurs de Q selon les différents rayonnements, mais on lui a souvent attribué un degré de précision qu'elle n'avait pas et la Commission espère que ce degré ne sera pas plus déduit des nouveaux facteurs de pondération. La Commission a choisi une valeur pour le facteur de pondération pour les rayonnements égale à l'unité pour tous les rayonnements ayant un TEL faible, y compris les rayonnements X et gamma de toutes énergies. Le choix pour les autres rayonnements est basé sur les valeurs observées de l'efficacité biologique relative (EBR), sans tenir compte du fait que le rayonnement de référence est un rayonnement X ou gamma.

(26) Quand le champ de rayonnement est composé de types et d'énergies de rayonnement ayant des valeurs de w_R différentes, la dose absorbée doit être subdivisée en tranches ayant chacune sa propre valeur de w_R dont on fait la somme pour obtenir la dose équivalente totale. Elle peut aussi être exprimée comme une distribution continue en énergie où chaque élément de la dose absorbée dû à l'élément d'énergie se trouvant entre E et $E + dE$ est multiplié par la valeur de w_R du Tableau 1, ou pour une approximation, par la valeur de w_R obtenue à partir de la fonction continue donnée dans le paragraphe A12 de l'Annexe A et illustrée par la courbe continue de la Figure 1. La base de sélection pour d'autres rayonnements est donnée dans l'Annexe A (paragraphe A13). Les électrons Auger émis à partir des noyaux liés à l'ADN présentent un problème particulier car il n'est pas réaliste de moyenniser la dose absorbée sur la masse entière d'ADN comme l'exigerait la définition actuelle de la dose équivalente. Les effets des électrons Auger doivent être évalués par les techniques de la microdosimétrie (voir Annexe B, paragraphe B67).

2.2.3. Les facteurs de pondération pour les tissus et la dose efficace

(27) On a trouvé que la relation entre la probabilité d'apparition d'effets stochastiques et la dose équivalente dépend aussi de l'organe ou du tissu irradié. Il est donc approprié de définir une

Tableau 1. Facteurs de pondération pour les rayonnements¹

Type et énergie ²	Facteur de pondération pour les rayonnements w_R
Photons, toutes énergies	1
Electrons et muons, toutes énergies ³	1
Neutrons, énergie < 10 keV	5
10 keV à 100 keV	10
> 100 keV à 2 MeV	20
> 2 MeV à 20 MeV	10
> 20 MeV	5
(Voir aussi Figure 1)	
Protons autres que les protons de recul énergie > 2 MeV	5
Particules alpha, fragments de fission, noyaux lourds	20

¹ Toutes les valeurs se rapportent au rayonnement ayant une incidence sur le corps ou, pour les sources internes, émises à partir de la source.

² Le choix des valeurs pour d'autres rayonnements est discuté dans l'Annexe A.

³ Sauf les électrons Auger émis à partir de noyaux liés à l'ADN (voir para. 26).

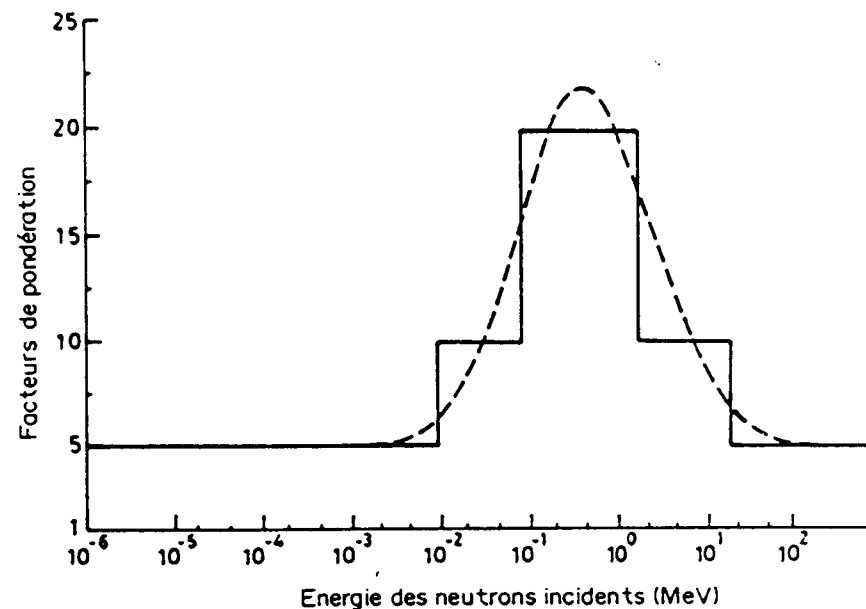


Fig. 1. Facteurs de pondération pour les neutrons. La courbe lissée doit être considérée comme une approximation.

autre grandeur, dérivée de la dose équivalente, pour exprimer la combinaison de différentes doses à plusieurs tissus différents de telle façon que l'on obtienne une corrélation simple avec la totalité des effets stochastiques. Le facteur par lequel l'équivalent de dose dans le tissu ou l'organe T est pondéré est appelé **facteur de pondération pour les tissus**, w_T qui représente la contribution relative d'un organe ou tissu au détriment total dû aux effets qui résulteraient d'une irradiation uniforme de tout le corps (voir Section 3.5). La dose équivalente pondérée (une dose absorbée doublement pondérée) a précédemment été appelée équivalent de dose efficace mais ce nom est inutilement pesant, spécialement dans les combinaisons plus complexes comme l'équivalent de dose efficace engagé collectif. La Commission a maintenant décidé d'utiliser le terme plus simple de **dose efficace**, E . L'introduction du nom de dose efficace est associée au retour à la dose équivalente, mais n'a rien à voir avec des changements dans la forme ou l'ampleur des facteurs de pondération pour les tissus. L'unité est le joule par kilogramme ayant le nom spécial de sievert. Le choix des valeurs du facteur de pondération pour les tissus est discuté dans la Section 3.5 et les valeurs recommandées sont données dans le Tableau 2.

(28) La dose efficace est la somme des doses équivalentes pondérées dans tous les tissus et les organes du corps. Elle est donnée par l'expression :

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

où H_T est la dose équivalente dans le tissu ou l'organe T et w_T est le facteur de pondération pour le tissu T. La dose efficace peut aussi être exprimée en tant que somme de la dose absorbée doublement pondérée dans tous les tissus et les organes du corps.

(29) Il est souhaitable qu'une dose équivalente uniforme sur tout le corps donne une dose efficace numériquement égale à cette dose équivalente uniforme. Ceci est obtenu en ramenant la

Tableau 2. Les facteurs de pondération pour les tissus¹

Tissu ou organe	Facteur de pondération pour les tissus, w_T
Gonades	0,20
Moëlle osseuse (rouge)	0,12
Colon	0,12
Poumon	0,12
Estomac	0,12
Vessie	0,05
Sein	0,05
Foie	0,05
Oesophage	0,05
Thyroïde	0,05
Peau	0,01
Surface des os	0,01
Autres tissus ou organes	0,05 ^{2,3}

¹ Les valeurs ont été obtenues pour une population de référence ayant un nombre égal d'hommes et de femmes et une large fourchette d'âges. Dans la définition de la dose efficace, elles s'appliquent aux travailleurs, à toute la population, et aux deux sexes.

² Pour des raisons de calcul, les "Autres tissus ou organes" comprennent: la glande surrénale, le cerveau, le gros intestin, l'intestin grêle, les reins, les muscles, le pancréas, la rate, le thymus et l'utérus. La liste contient des organes susceptibles d'être irradiés sélectivement. On sait que certains organes de cette liste sont susceptibles d'être le siège d'un cancer induit. Si d'autres tissus ou organes sont par la suite identifiés comme présentant des risques importants d'induction de cancer, ils seront alors inclus soit avec un facteur de pondération pour les différents tissus spécifiques, soit dans la liste additionnelle constituant la rubrique "Autres". Cette rubrique pourrait aussi comprendre d'autres tissus ou organes sélectivement irradiés.

³ Dans les cas exceptionnels où un seul des tissus ou organes de la rubrique "Autres" reçoit une dose équivalente supérieure à la dose la plus élevée dans n'importe lequel des douze organes pour lesquels un facteur de pondération est précisé, un facteur de pondération de 0,025 devrait être appliqué à ce tissu ou à cet organe et un facteur pondérateur de 0,025 devrait être appliqué à la dose moyenne dans le reste des "Autres tissus ou organes".

somme des facteurs de pondération pour les tissus à l'unité. Les valeurs du facteur de pondération pour le rayonnement dépendent du type et de l'énergie du rayonnement et sont indépendantes du tissu ou de l'organe. De même, on a choisi que les valeurs du facteur de pondération pour le tissu soient indépendantes du type et de l'énergie du rayonnement incident. Ces simplifications peuvent n'être que des approximations de la véritable situation biologique, mais elles rendent possible la définition d'un champ de rayonnement en dehors du corps en termes dosimétriques (voir Section 2.4) sans avoir besoin de spécifier un organe cible.

(30) Les conséquences résultant d'une dose absorbée ne dépendent pas seulement de l'ampleur de la dose, du type et de l'énergie du rayonnement (traités avec le facteur de pondération pour les rayonnements), et de la distribution de la dose à l'intérieur du corps (traitée avec le facteur de pondération pour les tissus), mais aussi de la distribution de la dose dans le temps (débit de dose et étalement de l'exposition). Dans les formulations précédentes, on a prévu la possibilité de facteurs de pondération autres que ceux pour les tissus ou les rayonnements. Le produit de ces autres facteurs de pondération non spécifiés était appelé N . Tout effet de la distribution de la dose dans le temps aurait pu être adapté en assignant une série de valeurs à N . Dans la pratique cela n'a jamais été tenté et la Commission a maintenant décidé

d'abandonner l'utilisation de N . L'effet de toutes les conditions d'exposition autres que celles traitées par les facteurs de pondération pour les tissus et les rayonnements sera couvert par l'utilisation de différentes valeurs des coefficients reliant la dose équivalente et la dose efficace à la probabilité d'apparition d'effets stochastiques, plutôt que par l'utilisation de facteurs de pondération supplémentaires dans les définitions des grandeurs.

(31) Les valeurs des facteurs de pondération pour les tissus et les rayonnements dépendent de notre connaissance actuelle de la radiobiologie et peuvent changer de temps en temps. En effet, de nouvelles valeurs sont adoptées dans ces recommandations. Bien que ces changements ne soient pas fréquents, ils peuvent entraîner une certaine confusion. Les définitions de la dose équivalente (dans un seul tissu ou organe) et de la dose efficace (dans tout le corps) ne sont limitées à aucune série de valeurs particulières de ces facteurs de pondération, et il faut donc veiller à éviter les ambiguïtés. Lorsque la Commission utilisera la dose équivalente et la dose efficace, il sera implicite qu'elles contiendront les valeurs de facteurs de pondération pour les tissus et les rayonnements recommandées à ce moment précis par la Commission. Il est approprié de considérer comme additives les grandeurs pondérées utilisées par la Commission mais évaluées à des périodes différentes, malgré l'utilisation de différentes valeurs de facteurs de pondération. La Commission ne recommande pas d'essayer de corriger les valeurs précédentes. Il est aussi approprié d'ajouter les valeurs d'équivalent de dose à la dose équivalente et les valeurs d'équivalent de dose efficace à la dose efficace sans ajustement. Si des valeurs de facteurs de pondération autres que celles recommandées par la Commission sont utilisées, cela devrait être clairement indiqué, et les valeurs explicitement données quand les grandeurs sont introduites. Ces grandeurs pondérées ne devraient pas être ajoutées à celles de la Commission.

(32) La dose équivalente ainsi que la dose efficace sont toutes les deux destinées à être utilisées en protection radiologique, ce qui inclut l'estimation de risques en termes généraux. Elles fournissent une base pour l'estimation de la probabilité d'apparition des effets stochastiques uniquement pour les doses absorbées se trouvant bien en-dessous des seuils pour les effets déterministes. Pour l'estimation des conséquences probables d'une exposition affectant une population connue, il sera parfois plus approprié d'utiliser la dose absorbée et des données spécifiques liées à l'efficacité biologique relative des rayonnements concernés et les coefficients de probabilité liés à la population exposée.

2.3. Grandeurs Dosimétriques Complémentaires

(33) Plusieurs grandeurs dosimétriques complémentaires se sont révélées utiles. Après l'incorporation d'une substance radioactive, il y a une période durant laquelle cette substance donne naissance à des doses équivalentes dans les tissus de l'organisme à des débits qui varient. L'intégrale dans le temps du débit de dose équivalente est appelée dose équivalente engagée, $H_T(\tau)$, où τ est le temps d'intégration (en années) à partir de l'incorporation. Si τ n'est pas précisé, la valeur sera implicitement de 50 ans pour les adultes et à partir de l'incorporation, jusqu'à 70 ans pour les enfants. Par extension, la dose efficace engagée, $E(\tau)$ est définie de la même façon. Lorsque la Commission parle de dose équivalente ou de dose efficace accumulée pendant une période donnée, cela implique la prise en compte de toute dose engagée résultant d'incorporations se produisant pendant la même période.

(34) Les grandeurs dosimétriques auxquelles il est fait allusion plus haut se rapportent toutes à l'exposition d'un individu. La Commission utilise d'autres grandeurs se rapportant à des groupes ou des populations exposés. Ces grandeurs prennent en compte le nombre de personnes exposées à une source en multipliant la dose moyenne du groupe exposé par le nombre d'individus du groupe. Les grandeurs pertinentes sont la dose équivalente collective, S_T , qui se

rapporte à un tissu ou un organe précis, et la **dose efficace collective**, S . Si plusieurs groupes sont impliqués, la grandeur collective totale est la somme des grandeurs collectives de chaque groupe. L'unité de ces grandeurs collectives est l'homme sievert. On peut considérer que les grandeurs collectives représentent les conséquences totales de l'exposition d'une population ou d'un groupe, mais une telle utilisation devrait être limitée aux situations pour lesquelles d'une part, les conséquences sont réellement proportionnelles à la grandeur dosimétrique ainsi qu'au nombre de personnes exposées et, d'autre part, un coefficient de probabilité approprié est disponible (voir Section 2.4). Quand il est nécessaire de distinguer entre une dose collective et une dose pour un individu, cette dernière est appelée dose individuelle.

(35) La dose efficace collective résultant de la présence de matières radioactives dans l'environnement peut être accumulée sur de longues périodes couvrant des générations successives d'individus. La dose efficace collective totale à laquelle on peut s'attendre pour une situation donnée, est l'intégrale sur la totalité du temps du débit de dose efficace collective résultant de cette situation c'est-à-dire engagé par un rejet unique (ou d'une période unitaire de fonctionnement d'une pratique continue). Si l'intégration ne se fait pas sur un temps infini, la grandeur est considérée comme tronquée à un moment déterminé. Si les gammes de doses individuelles ou de temps sont importantes, il peut être utile de subdiviser les grandeurs collectives en tranches couvrant des gammes de dose et de temps plus limitées. Lorsque l'on examine les conséquences d'une période unitaire, dans le cas d'une pratique, il est parfois commode de distinguer entre la dose efficace collective déjà délivrée et la dose efficace collective engagée sur la totalité du temps.

(36) L'**engagement de dose** ($H_{c,T}$ ou E_c) est un outil de calcul. Il peut être évalué pour un groupe critique aussi bien que pour la population mondiale dans son ensemble. Il est défini comme l'intégrale sur un temps infini du **débit de dose par tête** (\dot{H}_T ou \dot{E}) due à un événement déterminé, comme une unité d'une pratique (par exemple une année d'une pratique):

$$H_{c,T} = \int_0^{\infty} \dot{H}_T(t) dt$$

ou

$$E_c = \int_0^{\infty} \dot{E}(t) dt$$

Dans le cas d'une pratique à durée indéterminée à débit constant, le débit de dose annuel maximum par individu (\dot{H}_T ou \dot{E}), pour le futur et pour la population spécifiée sera égal à l'engagement de dose d'une année de pratique, quels que soient les changements de la taille de la population. Si la pratique n'est poursuivie uniquement que sur une période τ , la dose annuelle future maximum par individu sera égale à l'engagement de dose tronqué correspondant, défini par:

$$H_{c,T}(\tau) = \int_0^{\tau} \dot{H}_T(t) dt$$

ou

$$E_c(\tau) = \int_0^{\tau} \dot{E}(t) dt$$

2.4. Autres Grandeurs

(37) Plusieurs autres grandeurs ont une utilisation spéciale en protection radiologique. L'une d'entre elles est l'**activité**, A , d'une certaine quantité d'un radionucléide. L'activité est le nombre moyen de transformations nucléaires spontanées se produisant par unité de temps. Son unité est l'inverse de la seconde, s^{-1} , à laquelle on a donné le nom spécial de becquerel (Bq).

(38) Il y a aussi quatre grandeurs opérationnelles d'un intérêt particulier pour la mesure des champs de rayonnement en vue de la radioprotection. Ces grandeurs de l'ICRU, l'**équivalent de dose ambiant**, $H^*(d)$, l'**équivalent de dose directionnel**, $H'(d)$, l'**équivalent de dose individuel, pénétrant**, $H_p(d)$, et l'**équivalent de dose individuel, superficiel**, $H_s(d)$ sont définies dans l'Annexe A. Toutes ces grandeurs sont basées sur le concept d'équivalent de dose en un point et non sur celui de dose équivalente (voir paragraphe 24).

(39) Lorsque l'on établit un rapport entre les effets stochastiques et les grandeurs dosimétriques, il est pratique d'utiliser un coefficient de probabilité. Par exemple, le **coefficient de probabilité de mortalité** est le quotient de la probabilité de décès qu'un incrément de dose causera par la valeur de cet incrément de dose. La dose en question sera généralement une dose équivalente ou une dose efficace. De tels coefficients se rapportent obligatoirement à une population déterminée.

(40) Il est souvent utile dans des recommandations générales d'employer des termes génériques qui peuvent s'appliquer à n'importe laquelle des grandeurs dosimétriques. La Commission utilise le terme "dose" de cette façon dans des expressions telles que "limite de dose". Cela peut être une limite appliquée à la dose équivalente ou à la dose efficace. L'ambiguïté est généralement levée grâce au contexte. La Commission utilise aussi le terme "exposition" dans un sens générique pour signifier le processus consistant à être exposé à des rayonnements ou des matières radioactives. La signification d'une exposition dans ce sens est déterminée par les doses résultantes. Il semble peu probable que cela soit une cause de confusion avec l'utilisation très spécifique du terme exposition en tant que grandeur définie par l'ICRU.

(41) La Commission utilise le Système d'unités Internationales (SI) et la convention internationale selon laquelle on écrit le nom des unités en caractères minuscules. Les abréviations des unités sont écrites en minuscules ou en initiales, sauf quand le nom de l'unité est dérivé du nom d'une personne, par exemple, l et ml pour litre et millilitre, mais Sv et mSv pour sievert et millisievert.

3. ASPECTS BIOLOGIQUES DE LA PROTECTION RADIOLOGIQUE

Le Chapitre 3 introduit le problème des effets biologiques stochastiques et déterministes des rayonnements ionisants et ouvre une discussion sur les difficultés soulevées par la quantification du détrimement associé à une exposition aux rayonnements. Des informations biologiques plus détaillées, dont celles sur les risques des rayonnements, se trouvent dans l'Annexe B. L'utilisation de ces informations comme base de la politique de protection radiologique est discutée dans l'Annexe C.

3.1. Introduction

(42) Comme cela a été exposé au Chapitre 1, la protection radiologique concerne la protection de l'homme contre les effets nocifs des rayonnements. Dans tout son travail, la Commission a basé son approche sur les meilleures informations dont on dispose sur les effets biologiques des rayonnements et les a utilisées pour constituer une base biologique simplifiée mais adéquate pour la protection radiologique. Par conséquent, le développement donné aux