

## L'optimisation de la radioprotection dans le domaine médical\*

J.R. CROFT\*\*

(Manuscrit reçu le 25 mai 1987)

### RÉSUMÉ

Le principe d'optimisation repose sur l'idée de maintenir les expositions "aussi bas qu'il est raisonnablement possible" (principe ALARA). Afin de mettre en œuvre ce principe, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a recommandé l'utilisation de l'analyse coût-bénéfice. Alors que cette méthode d'aide à la décision est maintenant largement appliquée dans le domaine industriel et nucléaire, elle n'a reçu que peu d'échos dans le secteur médical, bien qu'en ce domaine il existe un potentiel pour une réduction des doses, et en particulier celles reçues par les patients. Cet article a pour objectif d'attirer l'attention sur les applications possibles de l'optimisation dans le secteur médical, en rappelant les solutions particulières proposées en Grande-Bretagne pour la valorisation monétaire de l'homme-sievert ainsi que pour l'application de l'analyse coût-bénéfice. Bien que faisant référence au contexte de la Grande-Bretagne en matière de réglementation et de pratiques médicales, les principes fondamentaux décrits dans cet article peuvent être appliqués à d'autres pays.

### ABSTRACT

The principle of optimisation of protection requires that doses be kept as low as reasonably achievable (ALARA). To aid the judgments inherent in this, the ICRP recommended the use of cost-benefit analysis. Whilst this decision aiding technique is now widely used in the nuclear power and industrial sectors, it has received little attention in the medical sector even though significant dose savings are potentially available, particularly in respect of patient doses. With the objective of focussing attention in this area, this paper reviews the advice given in the U.K. on monetary valuations of the man-sievert, the role of cost-benefit analysis in optimization and potential areas of application in the medical sector. Although written in the context of U.K. legislation and medical practices, the underlying principles are equally applicable in other countries.

---

(\*) Ce travail a été partiellement financé par la Commission des Communautés européennes dans le cadre du projet conjoint NRPB-CEPN intitulé "Méthodes pour l'application pratique du principe ALARA".

(\*\*) National Radiological Protection Board, Northern Centre, Hospital Lane, Cookridge, Leeds LS16 6RW (Grande-Bretagne).

## 1. INTRODUCTION

Dans sa publication 26 [8] la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a recommandé un système de limitation des expositions fondé sur trois principes: la justification des pratiques, l'optimisation de la radioprotection et le respect des limites de doses individuelles. Ce système constitue la base de la législation en vigueur au Royaume-Uni comme l'attestent les réglementations relatives aux rayonnements ionisants établies en 1985 [6] dans lesquelles un accent particulier est mis sur le principe d'optimisation. Ces réglementations couvrent l'exposition du public et des travailleurs et, dans la mesure où la conception, la construction et la maintenance des équipements peuvent l'affecter, celle des patients. Les limites de dose ne concernent évidemment pas ces derniers, mais les deux principes de justification et d'optimisation leur sont applicables. Cette approche est celle qui a été retenue dans une directive Euratom [3] récente qui définit les normes pour la protection des patients et qui sera reprise au Royaume-Uni dans une réglementation particulière actuellement en cours de préparation [7]. Dans ce contexte, il apparaît intéressant d'examiner comment le principe d'optimisation peut être mis en œuvre sur le plan pratique pour la protection des patients.

L'optimisation de la radioprotection est un sujet qui recouvre un large domaine. Dans cet article, il est hors de propos d'essayer d'en aborder tous les aspects et nous nous limiterons donc au problème de la valorisation monétaire de l'homme-sievert qui a été traité de façon originale par le NRPB et, d'autre part, aux applications qui présentent un réel intérêt pour la protection des patients.

## 2. LA VALORISATION MONÉTAIRE DE L'HOMME-SIEVERT

La CIPR dans sa publication 37 [9] précise que le détriment associé aux rayonnements est constitué de deux composantes. La première inclut l'ensemble des effets nuisibles pour la santé qui peuvent être estimés quantitativement, et la seconde recouvre une série de facteurs plus difficilement quantifiables comme l'anxiété des personnes exposées. Afin d'intégrer ces composantes dans son système, la Commission a assigné une valeur monétaire  $\alpha S$  à la première composante du détriment sanitaire (la part quantifiable) où  $S$  représente l'équivalent de dose efficace collectif associé à la pratique et  $\alpha$  la valeur monétaire attribuée à l'unité de dose collective qui est exprimée en £/homme-sievert. Pour l'autre composante du détriment à laquelle a été attribuée une valeur monétaire de l'unité de dose collective symbolisée par  $\beta$ , la Commission a recommandé une évaluation séparée pouvant tenir compte de l'aversion au risque et des niveaux de dose individuelle.

### 2.1. L'approche du NRPB

En 1980, le National radiological protection board (NRPB) a publié un document consultatif [11] sur l'utilisation de l'analyse coût-bénéfice pour l'optimisation de la protection radiologique du public. Après un examen des différents commentaires reçus à propos de ce document le Board a émis

des recommandations provisoires précisant le cadre général pour la mise en œuvre de l'analyse coût-bénéfice pour la protection du public [12] avec, à l'appui, un document d'explication [2]. Parallèlement à cette démarche, une action similaire a été menée pour la protection des travailleurs [13].

Dans les deux cas, le principe retenu pour l'évaluation monétaire du détriment total a été celui du recours à une fonction en escalier permettant d'assigner un coût croissant de l'homme-sievert en fonction du niveau des doses individuelles.

Après avoir reçu l'ensemble des commentaires sur ce système, pour des considérations relevant de son application pratique, le NRPB a décidé d'intégrer ses propositions concernant l'optimisation de la protection des travailleurs et du public dans un document unique [14]. Tout en conservant les principes initiaux, le schéma final repose sur une valeur de base minimale de l'unité d'exposition collective (la valeur d' $\alpha$ ) fondée sur le calcul économique, et une valeur croissante avec le niveau des doses individuelles (la valeur de  $\beta$ ). Il est applicable à toutes les sources d'exposition, y compris celles qui s'appliquent aux patients et à tous les effets sanitaires stochastiques, supposés apparaître parmi les populations irradiées, provenant soit de conditions normales, soit d'accidents. Afin de rendre le schéma applicable à toutes ces situations, aucune disposition particulière n'a finalement été retenue pour les doses individuelles voisines des limites tant pour le public que les travailleurs. Enfin, la fonction en escalier prévue initialement a été remplacée par une fonction continue afin de supprimer les problèmes posés par les doses proches des valeurs définissant les bornes de la fonction.

L'estimation du coût d' $\alpha$  prend en compte les coûts médicaux directs associés aux cancers, létaux et non létaux, et aux effets génétiques potentiellement induits, ainsi que les coûts indirects associés aux pertes de production du fait de la morbidité ou de décès prématurés. Le calcul de ce coût est fondé sur les coefficients de risques de mortalité proposés par la CIPR appliqués à la population du Royaume-Uni. La distribution dans le temps du risque après l'irradiation a été également prise en compte, sur la base de l'espérance de vie des hommes et des femmes du Royaume-Uni. Les pertes de production associées aux décès prématurés pour les différents âges de la population, incluant des estimations approximatives pour la fraction sans emploi, ont été associées aux probabilités de décès à un âge donné pour une irradiation uniforme de la population totale à 1 homme-sievert, afin d'obtenir une valeur moyenne de la perte financière. Le coût de la morbidité a été estimé équivalent à une année de production.

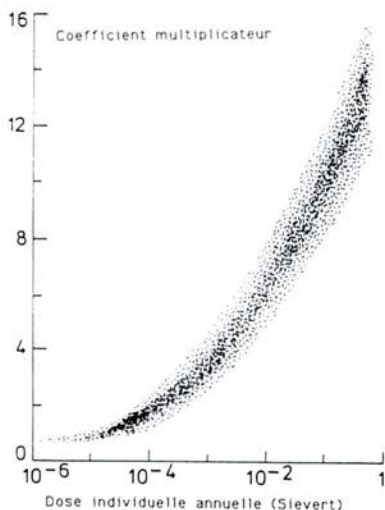
Les coûts médicaux d'hospitalisation pour le traitement des cancers ont été évalués à partir des données disponibles du ministère de la santé. Les coûts relatifs aux effets génétiques ont été calculés sur la base de l'hypothèse qu'ils auraient des conséquences économiques identiques à ceux qui s'appliquent pour la génération actuelle et proviennent de toutes origines.

La fourchette de valeurs pour le coût de l'unité de dose collective pour la population dans son ensemble s'est établie entre 600 et 2 700 £/homme-sievert sur la base des prix en 1976 et avec un coefficient d'actualisation variant de 3 à 0 % par an. La valeur de base retenue finalement par le NRPB pour la fin des années 80 est de 3 000 £/homme-sievert.

En ce qui concerne la prise en compte de l'aversion pour le risque, l'approche du NRPB repose sur trois caractéristiques. La première c'est qu'il existe un niveau de risque en-dessous duquel il est considéré comme négligeable pour les individus. Cette particularité a été reprise dans un autre contexte pour fonder les recommandations du Board en matière de "de *minimis*" [15]. Au-dessus de ce niveau de risque, il est fait l'hypothèse que les individus montrent une aversion croissante pour le risque lorsque le niveau d'exposition augmente. La prise en compte de ces deux éléments se traduit par une relation entre le coût de l'exposition collective et les niveaux de dose individuelles constituant cette dose collective qui est constante pour les niveaux de dose négligeables et régulièrement croissante au-delà de ce niveau.

Il y a deux possibilités d'envisager l'application d'une telle relation, dite "courbe d'aversion au risque", à la valeur de base du coût du détriment : soit de façon additive, soit multiplicative. Bien qu'une forme additive corresponde mieux aux recommandations de la CIPR, le NRPB a choisit pour des raisons de simplicité la forme multiplicative. Un coefficient multiplicateur ne peut être déterminé très précisément. Il a été choisi égal à 1 pour les valeurs au-dessous du niveau de dose négligeable afin de ne pas modifier la valeur initiale d' $\alpha$ . Ce facteur augmente ensuite progressivement pour les doses juste au-delà de ce niveau et puis plus rapidement lorsque les doses (et les risques) s'accroissent. Pour des doses annuelles voisines de la limite pour les travailleurs (50 mSv par an) et qui correspondent à un risque de décès de l'ordre de  $5 \times 10^{-4}$  par année d'exposition, un facteur multiplicatif d'environ 10 est apparu raisonnable.

La forme générale du coefficient multiplicateur retenu est présentée sur la figure 1. Il convient de noter que d'autres facteurs pourraient être introduits dans le modèle à l'aide de coefficients multiplicateurs supplémentaires. Ces derniers pourraient refléter, par exemple, la proximité des diverses limites ou différencier les doses reçues par le public, les travailleurs ou les



**Fig. 1. — Coefficient multiplicateur appliqué à la valeur de base du coût du détriment en fonction du niveau de dose individuelle annuelle relatif à une source.**

patients en fonction de critères tels que le degré de connaissance des risques, le fait que les expositions soient volontaires ou non, ou encore le bénéfice que l'on peut en attendre. On peut encore imaginer d'autres coefficients reflétant certaines caractéristiques de la source, voire des considérations socio-politiques.

## 2.2. La valeur de l'unité de dose dans le domaine médical

En ce qui concerne le contexte particulier de la protection des patients, RUSSEL et WEBB [16] ont récemment étudié les facteurs particuliers pouvant s'appliquer dans le domaine du radiodiagnostic et ont suggéré des valeurs de l'homme-sievert appropriées. Parmi les facteurs pris en considération on peut citer :

- les niveaux de dose associés aux différents types d'examens radiologiques,
- la répartition de la population irradiée selon l'âge,
- le fait que le patient reçoive un bénéfice direct de l'irradiation, contrairement à ce qui se passe pour les autres sources artificielles,
- les expositions médicales ne sont généralement pas perçues comme potentiellement dangereuses.

La répartition selon l'âge est un paramètre important dans la mesure où, en matière de radiodiagnostic, les expositions ne sont pas réparties uniformément au cours de la vie. En Grande-Bretagne, pour les enfants de moins de 10 ans, la fréquence des examens est 3 fois moins importante que celle des personnes âgées de plus de 60 ans et, de manière générale, l'irradiation associée à un examen est inférieure pour les enfants. Une large proportion des expositions dues au radiodiagnostic intervient pour les maladies de vieillesse à un âge où le risque de cancer radio-induit n'est plus pertinent. Inversement, les doses délivrées en radiopédiatrie et en obstétrique présentent un facteur de risque somatique et génétique supérieur à celui qui s'applique à la population générale.

Compte-tenu de l'ensemble de ces considérations, WEBB et RUSSELL en ont conclu qu'une valeur de l'homme-sievert comprise entre 5 000 et 10 000 £ apparaît appropriée pour la majorité des applications possibles dans un service général de radiologie. Cependant, pour les doses délivrées en pédiatrie et en obstétrique, une valeur 5 fois plus grande pourrait être retenue, soit entre 25 000 et 50 000 £ par homme-sievert.

## 3. L'APPLICATION DU PRINCIPE D'OPTIMISATION

Malgré quelques exemples comme les travaux de FLEISHMAN *et al.* [5], les applications dans le domaine médical restent assez rares. Lors de la conférence de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) consacrée à l'optimisation en 1986 [1], l'absence de communication sur la protection des patients a été soulignée dans les discussions de la table ronde finale. Parmi les arguments avancés pour expliquer cette situation, il a été mentionné le fait que les coûts de protection dans le médical sont relativement faibles, de l'ordre de centaines ou milliers de livres, et que les modifications peuvent avoir des effets négatifs sur la qualité des images radiologiques qui sont difficilement quantifiables.

### 3.1. La situation en matière de protection des patients

Malgré ces réserves, il est néanmoins intéressant d'examiner la protection des patients dans l'optique de l'optimisation en prenant comme référence la situation du Royaume-Uni.

Les expositions d'origine médicale, essentiellement dues au radiodiagnostic, représentent environ 90 % de l'irradiation artificielle [17], soit approximativement 17 000 homme-sievert par an (tableau I). La dispersion des doses pour un examen donné est telle [18] qu'il semble raisonnable d'avancer que l'optimisation des doses en agissant soit sur les équipements (par un recours plus large à la fibre de carbone par exemple), soit sur les protocoles des examens, conduirait à une réduction de l'exposition collective d'environ 25 % (figure 2). Ceci conduirait donc à une dose évitée annuelle de l'ordre de 4 000 homme-sievert, soit environ le double de la dose collective annuelle totale due aux autres sources artificielles. Sur la base des propositions de RUSSEL et WEBB [16], ce gain équivaldrait à un coût du détriment évité entre 20 et 40 millions de livres par an.

TABLEAU I  
Doses collectives associées aux différentes pratiques de radiodiagnostic pour la population du Royaume-Uni [17]

Type de pratique	Dose collective (homme-sievert)
• Radiodiagnostic (hors scanner)	15 000
• Scanner	500
• Radiologie dentaire	200
• Médecine nucléaire	950
Total	17 150

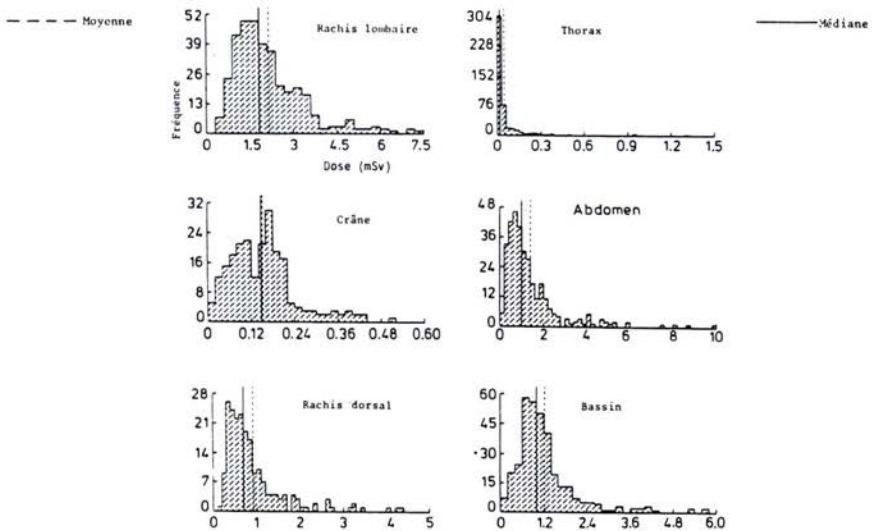


Fig. 2. — Distribution des doses (mSv) reçues par des patients adultes pour quelques examens "classiques" effectués dans 20 hôpitaux différents au Royaume-Uni [18].

De nombreuses actions de protection telles que l'usage d'écrans à terres rares ou de tables en fibres de carbone apparaissent comme étant très efficaces pour un coût restant limité. La CIPR, dans sa déclaration finale lors de la réunion de Paris en 1985, avait déjà attiré l'attention sur ce point, en soulignant que ces actions ne sont pas mises en œuvre aussi rapidement qu'on pourrait le souhaiter [10].

Les potentialités pour réduire les doses aux patients existent et la procédure d'optimisation doit désormais jouer son rôle pour évaluer et comparer les différentes actions possibles et identifier celles qui conduisent à la meilleure répartition des ressources financières disponibles entre la protection et d'autres finalités. Les développements qui suivent indiquent quelques-unes des directions dans lesquelles une réflexion pourrait être menée.

### 3.2. Les domaines d'application

Si l'on examine plus en détail les domaines pour lesquels l'optimisation peut s'appliquer, le choix des investissements en matière d'équipement et d'installation de locaux est probablement le plus évident. A propos de l'utilisation des écrans à terres rares et des matériaux en fibre de carbone évoqués ci-dessus, une étude de cas portant sur un département de radiologie fictif, mais reposant sur des données tout à fait concrètes, a été développée dans le cadre d'un travail pour le compte du comité 3 de la CIPR [4]. Le tableau II présente quelques-uns des rapports coût-efficacité associés à différentes mesures analysées dans cette étude. Comparés avec les valeurs monétaires de l'unité de dose collective proposées par RUSSEL et WEBB [16] pour la protection des patients, ces résultats démontrent que pour la quasi-totalité des actions envisagées la mise en œuvre des investissements est largement justifiée sur le plan de la radioprotection.

TABLEAU II

**Exemple d'une étude coût-efficacité effectuée au niveau d'un département de radiologie fictif (les rapports coût-efficacité sont classés dans l'ordre de priorité de réalisation des actions)**

Numéro de salle	Actions de protection (équipements ajoutés)	Rapport coût-efficacité (livres/homme.Sv)
6	"Bi-plane screen pair" (vertical)	2,2
6	"Bi-plane screen pair" (horizontal)	14
2	Grille en fibre de carbone	50
6	Grille en fibre de carbone	58
5	Grille en fibre de carbone	74
...	...	...
3	Dessus de table en fibre de carbone	1050
4	Grille en fibre de carbone	1300
1	Dessus de table en fibre de carbone	1650
1	Potters muraux en fibre de carbone	2650
2	Dessus de table en fibre de carbone	4100
2		8900

Le développement de la formation et l'établissement de recommandations adaptées peuvent également jouer un rôle important dans la réduction des doses aux patients ainsi qu'au personnel des services. Dans sa déclaration de Paris [10], la CIPR a aussi attiré l'attention sur les examens radiologiques complexes effectués par des médecins ou des chirurgiens qui ne possèdent pas la formation appropriée en radiologie et en radioprotection ; à ce problème s'ajoute également celui de l'usage parfois abusif de la radioscopie. La formation dans ce domaine devrait être profitable, même si son efficacité est difficile à mesurer.

L'assurance de qualité est un autre domaine où des actions spécifiques devraient être évaluées comme, par exemple, la réduction de l'exposition collective par le contrôle et la diminution des clichés nuls dans les services de radiodiagnostic, ou encore le contrôle des clichés afin de garder le degré approprié de sensibilité, de contraste et de résolution tout en minimisant les doses aux patients.

Le programme de contrôle de la radiologie dentaire engagé par le *Health and safety executive* en Grande-Bretagne est un bon exemple de ce type de décision. Ce programme s'appuie sur le système mis au point par le NRPB, qui offre ce service par correspondance aux dentistes qui souhaitent contrôler leur installation radiologique. Le système du NRPB comporte un questionnaire, un dosimètre personnel et une cassette prothèse dentaire qui est exposée sur les appareils à contrôler. Après analyse des résultats, des recommandations sont adressées aux dentistes afin de réduire les expositions professionnelles et celles des patients. L'évaluation de l'efficacité du système, après quelques années de fonctionnement a permis de montrer que le coût de l'opération pour le *Health and safety executive* s'était élevé à environ 70 000 £ pour un coût du détriment évité de l'ordre de 300 000 livres, démontrant ainsi l'intérêt de poursuivre le programme. D'autres critères sont également entrés en ligne de compte dans la décision de poursuivre cette action. D'une part, la directive Euratom récente [3], et d'autre part le fait que la responsabilité de maintenir les doses "aussi bas qu'il est raisonnablement possible" reste celle des dentistes. En effet, à la suite de négociations entre l'association britannique des dentistes et le *Health and safety executive*, un protocole d'accord a été conclu stipulant que chaque poste de radiologie dentaire devrait être contrôlé au minimum tous les 3 ans à la charge des dentistes. Bien que le coût des contrôles soit passé de l'Etat aux praticiens, les objectifs du programme et les moyens de les atteindre sont restés les mêmes dans le cadre d'un programme réglementaire.

Un dernier aspect à signaler est celui des examens radiologiques de routine. Même si les programmes de radiodépistage systématique ont été réduits, en particulier depuis l'avènement des unités mobiles, le nombre d'examens reste important. Pour la plupart, ils sont effectués sur des groupes professionnels à risque comme les mineurs, par exemple. De nombreuses organisations et entreprises ont développé leur propre dépistage qui consiste, généralement, en un examen à l'embauche et un examen systématique chaque année. Il semble évident que l'importance de ces programmes devrait être périodiquement réévaluée dans la mesure où les motifs à l'origine de leur mise en œuvre peuvent évoluer.



### 3.3. Le problème des données

Les études d'optimisation menées dans le domaine nucléaire ont montré que les données disponibles ne sont, en général, pas adaptées aux besoins de la démarche. Il s'agit, en fait, d'un problème général et le médical n'échappe pas à la règle.

Pour les données économiques, la difficulté essentielle réside dans l'affectation de façon réaliste de la part des coûts des options considérées qui relèvent de la protection, qu'il s'agisse des coûts directs des équipements médicaux mais aussi de ceux relatifs à leur installation et leur exploitation comme les coûts en personnel médical.

En ce qui concerne les données dosimétriques, la situation est encore plus délicate. Au Royaume-Uni, les informations concernant l'activité d'un service de radiologie sont le plus souvent limitées à l'utilisation des différentes catégories de personnel. En principe, la centaine d'exams différents qui peuvent être pratiqués sont affectés d'un protocole standardisé. Cependant, sans une répartition détaillée du nombre d'exams et des temps d'exposition et de scopie de chaque type d'examen effectué, il est très difficile d'estimer les gains potentiels en termes de doses pour les patients comme pour le personnel. Quant aux travaux sur l'évaluation des doses collectives dues à l'irradiation médicale [18-19], ils ont été menés à partir d'enquêtes nationales et sont, en général, d'un intérêt assez limité pour cerner des situations concrètes.

L'utilisation croissante de l'informatique et la possibilité de générer les données au niveau même des pupitres de commande des tables radiologiques au moment des examens devraient permettre, à terme, de surmonter les difficultés actuelles. Il conviendrait, cependant, qu'une réflexion s'engage pour définir le type et le format des données devant être conservées, ainsi que sur des logiciels pour leur traitement ultérieur. Même si des données de bonne qualité sur l'activité devenaient disponibles, il reste tout de même le problème du passage à la dose. Les mesures directes sont évidemment la solution la plus satisfaisante, mais aussi difficile à mettre en œuvre sur le plan pratique et très coûteuse dès qu'elles sont effectuées de façon systématique. A l'opposé, on peut envisager d'utiliser des doses de référence pour chaque type d'examen. Une solution intermédiaire serait d'utiliser des doses de référence et de les modifier en fonction de paramètres évalués à partir des contrôles routiniers d'assurance de qualité.

## 4. CONCLUSION

Le potentiel de réduction des doses dues à l'irradiation médicale est important et mérite que l'on y prête une attention particulière au même titre que celle accordée aux irradiations d'origine industrielle. En dernière analyse, cette réduction pose essentiellement un problème d'allocation de ressources. Les premiers travaux d'évaluation développés au Royaume-Uni ont montré que des mesures simples sur le plan technique peuvent être mises en œuvre, à des coûts qui restent acceptables du point de vue du principe d'optimisation.

## REMERCIEMENTS

*L'auteur remercie le CEPN (Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire, Fontenay-aux-Roses - France), pour l'aide qu'il a reçue dans la mise au point de cet article pour les lecteurs français.*

## RÉFÉRENCES

- [1] AIEA et OCDE-AEN. International symposium on the optimisation of radiation protection, Vienna, 10-14 March, 1986. Vienne: AIEA, 1986.
- [2] CLARK M.J., FLEISHMAN A.B., WEBB G.A.M. Optimisation of the radiological protection of the public. Chilton: NRPB, 1981 (ASP4).
- [3] COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES. Directive du Conseil, du 3 septembre 1984, fixant les mesures fondamentales relatives à la protection radiologique des personnes soumises à des examens et traitements médicaux. JOCE, 1984, L265, 1-3 (84/466/Euratom).
- [4] CROFT J.R., HUDSON A.P., RUSSEL J.G. Exercise on the optimisation of aspects of a diagnostic X-ray department (à paraître).
- [5] FLEISHMAN A.B., NOLTEY H.M., WILKINSON J.M. Cost-benefit analysis of radiological protection: a case study of remote afterloading in gynaecological radiotherapy. Brit. J. Radiol., 1983, 56, 737-744.
- [6] GRANDE-BRETAGNE. The ionising radiations regulations. Statutory instrument N. 1333. Londres: HMSO, 1985.
- [7] HARRIS M.A. Implementation of the CEC directive on patient protection. Radiol. Prot. Bull., 1986, N. 76, 17-22.
- [8] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). Recommendations... (ICRP publication 26, Ann. ICRP, 1 (3). Oxford: Pergamon press, 1977.
- [9] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). Cost-benefit analysis in the optimisation of radiation protection (ICRP publication 37, Ann. ICRP, vol. 10) Oxford: Pergamon press, 1983.
- [10] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). Compte rendu de l'assemblée annuelle de la Commission internationale de protection radiologique, Paris, 1985. Radioprotection, 1985, 20 (3), 256-259 (en anglais: Ann. ICRP, 1985, 15 (3)).
- [11] NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). The application of cost-benefit analysis to the radiological protection of the public: a provisional framework. Harwell: NRPB, 1980.
- [12] NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). Cost-benefit analysis in optimising the radiological protection of the public: a provisional framework. Chilton: NRPB, 1981 (ASP4).
- [13] NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). Cost-benefit analysis in the optimisation of protection of radiation workers, a consultative document. Chilton: NRPB, 1982.
- [14] NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). Cost-benefit analysis in the optimisation of radiological protection. Londres: HMSO, 1986 (ASP9).
- [15] NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB). Small radiation doses to members of the public. Londres: HMSO, 1985 (ASP7).
- [16] RUSSEL J.G.B., WEBB G.A.M. Valuing the man-sievert in X-ray diagnosis. Brit. J. Radiol., 1987, 60 (715) 681-684.
- [17] SHRIMPTON P.C., WALL B.F. Doses to patients from medical radiological examinations in Great Britain. Radiol. Prot. Bull., 1986, N. 77, 10-14.
- [18] SHRIMPTON P.C., WALL B.F., JONES D.G. *et al.* A national survey of doses to patients undergoing a selection of routine X-ray examinations in English hospitals. NRPB-R200, 1986.
- [19] WALL B.F., HILLIER M.C., KENDAL G.M. An update on the frequency of medical and dental X-ray examinations in Great Britain for 1983. NRPB-R201, 1986.