Comparaison des sources de ^{170}Tm , ^{169}Yb , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{133}Xe et de ^{57}Co pour l'évaluation du blindage des salles de rayons X et spécifications de blindage primaire pour $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{133}Xe et ^{57}Co

J.-M. LÉGARÉ, P.-E. CARRIÈRE*

(Manuscrit reçu le 6 avril 1988)

RÉSUMÉ

Les auteurs ont choisi cinq radioisotopes (^{170}Tm , ^{169}Yb , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{133}Xe et ^{57}Co) pour l'évaluation des épaisseurs équivalentes en plomb et en béton des parois des salles de rayons X diagnostiques. À partir des courbes de transmission expérimentales pour de grands champs de photons ionisants émis et traversant des épaisseurs de 0 à 4 mm de plomb et de 0 à 20 cm de béton, on peut choisir les sources les plus appropriées, compte tenu de la durée utile de vie de chaque radioélément, de la répartition des évaluations de blindage à faire dans le temps, de leur approvisionnement, des épaisseurs de blindage prévues ainsi que des sortes de compteurs disponibles. Ce travail propose des choix de sources selon les situations rencontrées. Il donne également les spécifications de blindage primaire pour diverses activités radioisotopiques, charges de travail, distances et doses d'exposition dans l'air et équivalents de dose à la surface d'entrée des tissus pour ^{133}Xe , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ et ^{57}Co . Celles-ci s'ajoutent aux spécifications de blindage primaire et secondaire pour les sources de ^{170}Tm et de ^{169}Yb publiées par ailleurs.

ABSTRACT

Five radioisotopes (^{170}Tm , ^{169}Yb , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{133}Xe and ^{57}Co) were chosen for the evaluation of equivalent lead and concrete thicknesses for diagnostic X-ray rooms. Using experimental transmission curves for large fields of ionizing photons emitted and crossing thicknesses of 0 - 4 mm of lead and 0 - 20 cm of concrete, one can choose the most proper sources taking into account the useful life of the radionuclides, the time distribution of shielding evaluations to be made, their availability, the foreseen shielding thicknesses as well as the types of radiation meters available. Choices of sources are proposed for various situations encountered. Primary shielding specifications are also given for various radioisotopic activities, workloads, distances and exposure doses in air and dose equivalents at the tissue entrance surface for ^{133}Xe , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ and ^{57}Co . These can therefore be added to the primary and secondary shielding requirements published elsewhere for ^{170}Tm and ^{169}Yb .

* Service de radioprotection, ministère de l'Environnement du Québec, 5199 Est, rue Sherbrooke, suite 3860, Montréal, Québec, H1T 3X9.

INTRODUCTION

Lorsqu'il n'est pas possible d'évaluer visuellement les épaisseurs de blindage des salles de rayons X diagnostiques, on peut recourir à une source radioactive [9-10] ou un appareil à rayons X pour procéder à une telle évaluation.

Dans ce travail, nous visons, comme premier objectif, à optimiser la méthode de mesure des épaisseurs de blindages existants au moyen de cinq différentes sources radioactives données afin d'obtenir une meilleure précision sur nos mesures. Le deuxième objectif est d'évaluer les spécifications de blindage primaire relatives à trois des cinq sources radioactives choisies.

En 1984 [8], nous avons montré que l'utilisation de tous les rayonnements provenant de la source de ^{170}Tm avec sa capsule et l'extrémité de son câble (c'est-à-dire incluant le Bremsstrahlung abondant et très pénétrant, illustré par le spectre d'émission mesuré alors [8]) permettait de différencier des équivalences comprises entre 0 et 4 mm de plomb avec une précision modérée. Cette précision pouvait aussi s'améliorer en filtrant les photons ionisants tout en sacrifiant, en partie, leur intensité initiale.

MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

La figure 1 et le tableau I donnent les conditions expérimentales qui ont prévalu durant les mesures. Le champ de 50 x 50 cm à l'entrée du travail était amplement grand pour offrir une géométrie de grand champ [6, 8]. Nous avons choisi un emplacement donnant peu de rayonnements diffusés du plancher, des murs et du plafond. Nous avons soustrait le bruit de fond des mesures au travers d'un matériau donné surtout quand le pourcentage de transmission était d'environ 2 % ou moins [1, 6, 8, 9]. Les compteurs portatifs utilisés (tableau I) ont été étalonnés à l'extérieur ou sur place [4].

Fig. 1. — Montage expérimental avec atténuateur (ici, panneau de gypse plombé) devant le tunnel plombé.

TABLEAU I
Méthode expérimentale pour l'obtention des courbes de transmission
de grands champs de photons ionisants à travers divers matériaux

Blindage	¹⁷⁰ Tm				¹⁶⁹ Yb				^{99m} Tc		¹³³ Xe		⁵⁷ Co	
	Distance (m)				Distance (m)				Distance (m)		Distance (m)		Distance (m)	
Muret Pb 0-4 mm énergies (keV)	1	2	3		1	2	3	4	1	2	1	2	1	2
	I	I				I			I	I	I	I	I	I
	G	G				G			G	G	G	G	G	G
Plomb 0-4 mm énergies (keV)	80-100	80-100	80-100		80-100				80-200	80-200			80-200	80-200
	80-200	80-200	80-200		80-200									
	I	I	I		I	I			I	I	I	I	I	I
Béton 0-22 cm énergies (keV)	G	G	G		G	G			G	G	G	G	G	G
	80-100	80-100	80-100		80-100									
	80-200	80-200	80-200		80-200				80-200	80-200			112-132	80-200
Verre 0-5,7 cm énergies (keV)	I	I			I	I			I	I	I	I	I	I
	G	G			G	G			G	G	G	G	G	G
	80-100	80-100	80-100											
Verre Pb 0-1,6 mm Pb énergies (keV)	80-200	80-200	80-200						80-200	80-200			80-200	80-200
	I	I											I	I
	G	G											G	G
Gypse 0-9,5 cm énergies (keV)	80-100	80-100	80-100										80-200	80-200
	80-200	80-200	80-200											
	I	I			I	I			I	I	I	I	I	I
	G	G			G	G			G	G	G	G	G	G
	80-100	80-100	80-100											
	80-200	80-200	80-200						80-200	80-200			80-200	80-200

G: Geiger Berthold 1200 sans plaque métallique; I: chambres d'ionisation (Victoreen Panora. & Keithley 36150).
Energies de 80-200 keV sur le compteur à scintillations EG & G GR-310 et 112-132 keV sur le compteur à scintillations Ludlum 2200 avec sonde 44-14 de 7 cm de diamètre, 80-100 keV sur EG & G.
N.B.: Mesures de transmission des rayonnements de ⁵⁷Co (âge 360 j) à travers l'acier effectuées à 1,0 et 2,0 m par Berthold 1200 et à 1,0 m par Babyline 81 Nardeux et Keithley 36150.

Les principales caractéristiques physiques y compris le spectre d'émission des deux sources de radiographie industrielle (utilisées avec capsule et embout du câble) sont déjà connues pour ^{170}Tm et ^{169}Yb [8-9]. Les sources de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ liquide et de ^{133}Xe gazeux étaient, pour ce travail, contenues dans de petites bouteilles de verre d'un fournisseur radiopharmaceutique local. Elles étaient placées dans le petit conteneur commercial* blindé de façon à voir le fond de la bouteille de l'extérieur (fig. 2). Quant à la source radioactive de cobalt 57, elle comprenait un dépôt à la surface d'une pastille de 8,2 mm de diamètre et de 5 mm de hauteur et qui comprenait initialement 99,4 % de ^{57}Co accompagné de moins de 0,3 % d'impuretés de ^{56}Co et de ^{58}Co selon le fabricant. Cette pilule de ^{57}Co était libre de l'effet Mössbauer. La source se trouvait à l'intérieur d'un autre conteneur blindé commercial* avec ouverture conique (fig. 2).

L'activité de la source de ^{170}Tm était initialement de 2960 GBq (80 Ci) pour les deux compteurs débitmètres à chambre d'ionisation et le compteur Geiger. Cette source était plus tard de 30 GBq (0,8 Ci) pour les mesures avec compteur à scintillations. Les activités initiales des autres sources étaient les suivantes: 111 GBq (3 Ci): ^{169}Yb ; 3,7 GBq (100 mCi): $^{99\text{m}}\text{Tc}$; 3,7 GBq (100 mCi): ^{133}Xe et 1,85 GBq (50 mCi): ^{57}Co lors de leur achat en novembre 1984. Pour les compteurs à scintillations, il fallait attendre que les sources décroissent dans le temps afin d'éviter des comptages trop élevés pour chacune de ces sources.

La collimation [8] utilisée pour ^{170}Tm et ^{169}Yb comprenait un cône de plomb conçu pour l'iridium 192 industriel avec des ouvertures de 46° et de 60° .

Les matériaux de blindage suivants (habituellement 60 x 60 cm) ont été utilisés (fig. 1):

- panneaux de gypse ($0,7 \text{ g/cm}^3$) de même constitution que dans [6], mais de 1,27 cm d'épaisseur chacun;
- feuilles laminées (roulées) de plomb pur ($11,5 \text{ g/cm}^3$);
- murets composés chacun de deux panneaux de gypse de 1,27 cm d'épaisseur, séparés par deux planches de bois clouées latéralement afin d'y assurer un espace libre intérieur de 8,75 cm [8] et une rigidité;
- panneaux de verre ordinaire ($2,6 \text{ g/cm}^3$) de 1,9 cm d'épaisseur [6];
- dalles de béton ($2,35 \text{ g/cm}^3$) de 2,0 cm d'épaisseur;
- plaques d'acier ($7,8 \text{ g/cm}^3$) de 4,5 mm d'épaisseur.

* D.A. Usinage Inc., 594, Montée Masson, Mascouche, Québec, Can. J7K 2L5.

Fig. 2a

Fig. 2b

Fig. 2. — Conteneurs blindés avec leur source de ^{57}Co (2a et 2b, à droite), $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ou ^{133}Xe (2a et 2b, à gauche).

RÉSULTATS

Les figures 3 et 4 donnent les pourcentages de transmission calculés à partir des mesures des débits d'exposition des sources de ^{170}Tm , ^{169}Yb , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{133}Xe et ^{57}Co au-delà de diverses épaisseurs de blindage.

Fig. 3. — Pourcentage de transmission des rayonnements ionisants des sources de ^{170}Tm , de ^{169}Yb , de $^{99\text{m}}\text{Tc}$, de ^{133}Xe et de ^{57}Co à travers les feuilles de plomb, les murets plombés, obtenus par compteurs Geiger et chambre d'ionisation combinés et, parfois, par compteurs à scintillations munis de fenêtres de 80-100 keV, 80-200 keV et 112-132 keV.

Fig. 4. — Pourcentage de transmission des rayonnements ionisants des sources de ^{170}Tm , de ^{169}Yb , de $^{99\text{m}}\text{Tc}$, de ^{133}Xe et de ^{57}Co à travers le béton, les panneaux de verre ordinaire et de gypse et parfois à travers l'acier, obtenus par compteurs Geiger et chambre d'ionisation combinés et, parfois, par compteurs à scintillations munis de fenêtres de 80-100 keV, 80-200 keV et 112-132 keV.

En utilisant les données des figures 3 et 4, on peut arriver aux conclusions suivantes:

1. ^{99m}Tc est préférable pour les évaluations quantitatives du blindage des parois allant jusqu'à 3,2 mm Pb à effectuer dans un laps de temps d'une journée; toutefois, ^{133}Xe , filtré ou non, est préférable s'il y a plusieurs salles à vérifier et si le travail est étalé sur une ou deux semaines. Ces sources sont peu coûteuses et sont généralement disponibles dans le commerce. Il est préférable d'éliminer les bêta et les photons mous de ^{133}Xe par filtration (1,0 mm plastique d'abord plus 0,46 mm Cu) selon nos mesures. Ceci donne également des courbes de transmission droite (Fig. 3 et 4). Dans les deux cas, un compteur Geiger de haute sensibilité suffit. Un débitmètre à chambre d'ionisation seul n'a pas assez de sensibilité pour mesurer les faibles transmissions prévues.

2. ^{57}Co et, en deuxième lieu, ^{170}Tm est à conseiller pour les évaluations multiples du blindage n'excédant pas 1,6 mm Pb à effectuer sur une période d'un an ou deux à moins d'achats économiques fréquents de ^{99m}Tc ou de ^{133}Xe . Par contre, si l'on utilise un compteur à scintillations avec choix des bandes d'énergie de 80-100 keV, de 112-132 keV ou autres bandes d'énergies appropriées, ^{57}Co devance le ^{170}Tm jusqu'à 2,4 mm Pb. L'utilisation d'une source de ^{170}Tm avec un compteur à scintillations muni d'un sélecteur de bandes d'énergies est un bon choix pour des équivalents allant jusqu'à 4,0 mm Pb, surtout si le nombre de vérifications sur une ou deux années justifie le prix élevé de la source.

3. ^{169}Yb donne des caractéristiques de transmission adéquates pour toutes les épaisseurs de plomb considérées avec ou sans sélection de bandes d'énergies mais son prix très élevé et sa courte durée de vie le rendent peu recommandable à moins d'avoir un accès facile chez une entreprise de radiographie industrielle et obtention de l'autorisation légale nécessaire.

4. Les cinq sources sont acceptables (fig. 3) pour trouver les équivalents de plomb et de béton.

5. Les courbes de transmission pour des panneaux de gypse indiquent que les cinq sources utilisées dans ce travail ne sont pas adéquates pour différencier les diverses épaisseurs totales de gypse utilisées à cause du grand pouvoir de transmission des rayons émis.

Les tableaux II à IV donnent les spécifications de blindage primaire requises dans l'utilisation des sources de ^{99m}Tc , de ^{133}Xe et de ^{57}Co , par ex. dans les installations d'étalonnage [4] ou autres ainsi que les couches de demi-atténuation (CDA) et les couches de décitransmission (CDT) pour de grands champs traversant les matériaux de blindage (fig. 3 et 4).

TABLEAU II

Blindage requis pour réduire l'émission d'un grand faisceau photonique du ^{99m}Tc à 25,8 $\mu\text{Ci/kg}$ (100 mR) et 2,58 $\mu\text{Ci/kg}$ (10 mR) par semaine dans l'air

Charge de travail hebdomadaire TBq.s Ci.h		Distance source-point d'intérêt (m)										
32000	240	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,7	8,0	11,3	16,0	22,6	32,0
16000	120		1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,7	8,0	11,3	16,0	22,6
8000	60			1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,7	8,0	11,3	16,0
4000	30				1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,7	8,0	11,3
2000	15					1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,7	8,0
1000	7,5						1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,7
500	3,75							1,0	1,4	2,0	2,8	4,0
250	1,8								1,0	1,4	2,0	2,8
125	0,94									1,0	1,4	2,0
62	0,47										1,0	1,4
31	0,23											1,0
Zone	Epaisseur de blindage primaire											
Contrôlée 100 mR/sem.	mm plomb	2,17	1,88	1,59	1,30	1,01	0,73	0,44	0,18	0	0	0
Non contrôlée 10 mR/sem.	mm plomb	3,14	2,82	2,56	2,26	1,97	1,69	1,40	1,11	0,82	0,54	0,24
Contrôlée 100 mR/sem.	cm béton	19,9	17,5	15,2	13,1	10,8	8,3	5,3	2,1	0	0	0
Non contrôlée 10 mR/sem.	cm béton	27,6	25,3	23,0	20,7	18,3	15,9	13,8	11,5	9,1	6,3	3,1

Couche de demi-atténuation (CDA) pour un grand faisceau dur: 0,32 mm Pb = 2,3 cm béton.

Couche de déci-transmission (CDT) pour un grand faisceau dur: 0,97 mm Pb = 8,0 cm béton.

Pour des équivalents de dose de 1,0 et 0,10 mSv/par semaine à l'entrée des tissus, multiplier la charge de travail par 1,5 avant d'utiliser ce tableau (voir texte). Ce tableau ne contient pas de facteur de sécurité (voir texte).

TABLEAU III

Blindage requis pour réduire l'émission d'un grand faisceau photonique du ^{133}Xe à 25,8 $\mu\text{C/kg}$ (100 mR) et 2,58 $\mu\text{C/kg}$ (10 mR) par semaine dans l'air

Charge de travail hebdomadaire TBq.s Ci.h		Distance source-point d'intérêt (m)							
4000	30	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,7	8,0	11,3
2000	15		1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,7	8,0
1000	7,5			1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,7
500	3,75				1,0	1,4	2,0	2,8	4,0
250	1,8					1,0	1,4	2,0	2,8
125	0,94						1,0	1,4	2,0
62	0,47							1,0	1,4
31	0,23								1,0
Zone	Epaisseur de blindage primaire								
contrôlée	mm plomb	0,76	0,36	0,18	0,04	0	0	0	0
non contrôlée	mm plomb	1,72	1,34	1,14	0,85	0,35	0,27	0,06	0,01
contrôlée	cm béton	5,0	3,3	1,6	0,4	0	0	0	0
non contrôlée	cm béton	10,6	8,9	7,2	5,5	3,9	2,1	0,7	0,1
contrôlée	cm acier	3,6	1,9	0,7	0,2	0	0	0	0
non contrôlée	cm acier	9,4	7,7	5,9	4,2	2,5	1,0	0,3	0,1

Couche de demi-atténuation (CDA) pour un grand faisceau dur: 0,30 mm Pb = 1,8 cm béton = 1,8 cm acier.

Couche de déci-transmission (CDT) pour un grand faisceau dur: 1,02 mm Pb = 5,8 cm béton = 5,8 cm acier.

Pour des équivalents de dose de 1,0 et 0,10 mSv/par semaine à l'entrée des tissus, multiplier la charge de travail par 1,4 avant d'utiliser ce tableau.

Ce tableau ne contient pas de facteur de sécurité.

Ces spécifications de blindage pour réduire l'émission d'ionisation d'un grand faisceau photonique de $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{133}Xe et ^{57}Co à 25,8 $\mu\text{C/kg}$ (100 mR) et 2,58 $\mu\text{C/kg}$ (10 mR) par semaine de 40 h dans l'air sont basées sur les données suivantes:

1. Des activités spécifiques de $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{57}Co et ^{133}Xe à 1,0 m égales à 0,076, 0,096 et $\frac{0,050 \text{ mR}}{\text{h.mCi}}$ et correspondant à 0,147, 0,186 et $\frac{0,097 \text{ pCi}}{\text{kg.s.MBq}}$ (mesures de transmission par chambres d'ionisation et Geiger combinés seulement);

2. Des charges de travail de 32 000 TBq . s (240 Ci .h) pour $^{99\text{m}}\text{Tc}$ et de 4 000 TBq.s (30 Ci.h) pour ^{133}Xe et ^{57}Co , les plus élevées en pratique;

3. Une utilisation des sources de 40 h par semaine sur une période de 50 semaines par année;

4. Pour ^{57}Co , les lignes du 35^e jour avec impureté et celles du 785^e jour sans impureté ont servi pour les spécifications de blindage en plomb et en béton; la courbe de transmission pour l'acier a été faite lorsque la source de ^{57}Co avait 360 jours, donc sans impureté;

5. Afin d'obtenir le blindage requis pour des équivalents de dose de 1 mSv (100 mrem) et 0,1 mSv (10 mrem) par semaine sur une base de 40 h par semaine pour 50 semaines de travail par année, utiliser les tableaux II à IV seulement après avoir multiplié la charge de travail prévue par les facteurs 1,46, 1,36 et 1,55 respectivement pour ^{99m}Tc , ^{133}Xe et ^{57}Co qui tiennent compte de la rétrodiffusion des rayonnements à l'entrée des tissus [5], du facteur de conversion rad/R [2, 7] et du facteur de qualité [3].

Il y a lieu d'ajouter aux spécifications de blindage un facteur de sécurité dans la charge de travail.

TABLEAU IV

Blindage requis pour réduire l'émission d'un grand faisceau photonique du ^{57}Co à 25,8 $\mu\text{Ci/kg}$ (100 mR) et 2,58 $\mu\text{Ci/kg}$ (10 mR) par semaine

Charge de travail hebdomadaire TBq.s Ci.h		Distance source-point d'intérêt (m)							
4000	30	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,7	8,0	11,3
2000	15		1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,7	8,0
1000	7,5			1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,7
500	3,75				1,0	1,4	2,0	2,8	4,0
250	1,8					1,0	1,4	2,0	2,8
125	0,94						1,0	1,4	2,0
62	0,47							1,0	1,4
31	0,23								1,0
Zone		Épaisseur de blindage primaire (source de 35 j)							
contrôlée	mm plomb	3,20	1,17	0,79	0,50	0,22	0	0	0
non contrôlée	mm plomb	I	I	I	I	1,38	0,88	0,59	0,32
contrôlée	cm béton	15,1	12,3	9,6	6,6	3,4	0	0	0
non contrôlée	cm béton	23,8	21,2	18,6	15,9	13,2	10,4	7,5	4,6
		Épaisseur de blindage primaire (source de 785 j)							
contrôlée	mm plomb	1,34	1,06	0,78	0,50	0,22	0	0	0
non contrôlée	mm plomb	2,26	1,98	1,70	1,42	1,14	0,88	0,59	0,32
contrôlée	cm béton	13,0	10,6	8,2	5,8	3,2	0	0	0
non contrôlée	cm béton	21,2	18,8	16,2	13,8	11,5	9,0	6,7	4,1
		Épaisseur de blindage primaire (source de 360 j)							
contrôlée	cm acier	2,15	1,70	1,25	0,80	0,38	0	0	0
non contrôlée	cm acier	3,65	3,16	2,72	2,28	1,84	1,40	0,96	0,50

Épaisseurs de blindage déduites à partir d'une source de ^{57}Co contenant initialement moins de 0,3 % de ^{56}Co et de ^{58}Co .

I: valeur indéterminée à cause de la pente quasi-horizontale de la courbe de transmission.

Couche de demi-atténuation (CDA) pour un grand faisceau dur: 0,28 mm Pb = 2,8 cm béton = 0,45 cm acier.

Couche de déci-transmission (CDT) pour un grand faisceau dur: 0,92 mm Pb = 8,8 cm béton = 1,5 cm acier.

Pour des équivalents de dose de 1,0 et 0,10 mSv/par semaine à l'entrée des tissus, multiplier la charge de travail par 1,6 avant d'utiliser ce tableau. Ce tableau ne contient pas de facteur de sécurité.

DISCUSSION

Nous nous sommes limités aux données de transmission pour les sources gamma de haute et moyenne activités les plus fréquentes que l'on retrouve en médecine nucléaire et en radiographie industrielle en plus de la source spéciale de ^{57}Co . Avant d'aller sur place établir les équivalents de plomb des murs à évaluer, nous conseillons d'expérimenter avec une source choisie pour mesurer les débits d'exposition apparents au-delà de feuilles de plomb, de murets typiques munis de plomb, ou au-delà de dalles de béton simulant les murs blindés prévus. Ceci se fait devant un tunnel plombé afin de réduire la diffusion en utilisant des distances typiques et en utilisant les compteurs disponibles ayant suffisamment de sensibilité.

Il est préférable d'utiliser des courbes de transmission avec une pente, ni trop faible, ni trop grande. Pour les sources de ^{169}Yb , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ et de ^{133}Xe , vu que les courbes de transmission pour le plomb demeurent suffisamment inclinées pour les épaisseurs de blindage de 2 à 4 mm de plomb, les facteurs limitatifs sont l'intensité du faisceau, la distance, la décroissance de la source et la sensibilité du compteur.

Un bon choix de source (nature et activité) et d'un compteur très sensible et surtout à scintillations, avec discriminateur d'énergie, contribuent à diminuer les coûts et les expositions des films et des personnes.

Les CDA et CDT des faisceaux durs des tableaux II à IV ne s'appliquent qu'aux pourcentages réels illustrés sur les figures 3 et 4 pour les compteurs Geiger compensés et à chambres d'ionisations. Nous avons noté, en particulier, pour une source de ^{57}Co vieillie, qu'au-delà de 2,4 mm de plomb, la courbe de transmission se recourbait vers l'horizontale. La spectrométrie gamma indique qu'un pic de fluorescence du plomb ressortait avec l'addition croissante de plomb.

RÉFÉRENCES

- [1] CARRIÈRE P.-E., LÉGARÉ J.-M. Rabbats plombés à 90° sur les surfaces de béton et extensions des murs de plomb à travers le béton pour les salles de rayons X fonctionnant entre 150 et 300 kVpc. (à paraître).
- [2] HUBBELL J.H. Photon mass attenuation and energy-absorption coefficients from 1 keV to 20 MeV. *Int. J. of Appl. Radiat. Isot.* 1982, 33, 1269-1290.
- [3] ICRU. The quality factor in radiation protection. (ICRU Rapport 40). Bethesda: ICRU, 1986.
- [4] LÉGARÉ J.-M. Etalonnage économique entre 30 et 1250 keV pour les compteurs externes à photons ionisants au moyen de sources de ^{125}I , ^{241}Am , ^{133}Xe , ^{57}Co , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{51}Cr , ^{137}Cs et de ^{60}Co (à paraître).
- [5] LÉGARÉ J.-M. Rétrodiffusion, rapports tissu/air et autres facteurs de dosimétrie tissulaire reliés aux spécifications de blindage et à la surveillance des photons ionisants (à paraître).

- [6] LÉGARÉ J.-M., CARRIÈRE P.-E., MANSEAU A., BIBEAU C., ROBERT J., ROBIDOUX N. Blindage contre les grands champs de rayons X primaires et diffusés des appareils triphasés au moyen de panneaux de verre, de gypse et de plomb acoustique. Radioprotection 1978, 13, 79-95.
- [7] LÉGARÉ J.-M., DA ROCHA A.F. GONÇALVES. Couches de demi-atténuation dans l'eau en fonction de la qualité du faisceau primaire, de la grandeur de champ et de la profondeur en radiothérapie. J. Radiol. Electrol. 1974, 55, 495-501.
- [8] LÉGARÉ J.-M., SIMARD M., CARRIÈRE P.-E. Evaluation du blindage des salles de rayons X au moyen d'une caméra de radiographie industrielle munie d'une capsule de thulium 170. Radioprotection 1984, 19, 211-225.
- [9] LÉGARÉ J.-M., CARRIÈRE P.-E., AUBÉ B., SAUVÉ M. Primary and secondary shielding requirements for ^{170}Tm and ^{169}Yb industrial radiography rooms (à paraître).
- [10] WITCOFSKI R.-L., WATTS F.-C., ENGSTROM L.-L., BLACKWELL C.-E. The gamma-ray evaluation of diagnostic shielding barriers. Radiology 1965, 85, p. 1123.