

ETUDE POUR L'ETABLISSEMENT D'UNE REFERENCE DE FAISCEAUX PHOTONIQUES DE HAUTE ENERGIE POUR LA RADIOPROTECTION

Dorin DUSCIAC, Mahfoud BOUDIBA, Jean-Marc BORDY, Josiane DAURES
Laboratoire National Henri Becquerel / Laboratoire de Métrologie de la Dose,
CEA-Saclay, 91191 Gif sur Yvette Cedex

Résumé :

Un faisceau de radioprotection a été produit à partir d'un faisceau d'électrons de 18 MeV de l'accélérateur médical (Delphes CEA LIST LNHB) en lui ajoutant une cible en cuivre et un filtre égalisateur/atténuateur en graphite. A l'aide d'une chambre d'ionisation primaire en graphite, le débit de kerma dans l'air de référence a été déterminé. Pour pallier la difficulté de reproductibilité des faisceaux issus des accélérateurs, les mesures sont rapportées à la valeur de la charge produite dans une chambre d'ionisation très stable dite moniteur. Le débit de kerma dans l'air est ainsi exprimé en gray par coulomb moniteur.

Une première estimation du débit de kerma dans l'air du faisceau de photons de haute énergie est fournie. Elle est compatible avec les besoins de la radioprotection. La connaissance des distributions spectrales de la fluence de photons issus de l'accélérateur et des coefficients de conversion calculés permettent la détermination des grandeurs $H^*(10)$ et $H_p(10)$ au point de mesure.

Le suivi radiologique des travailleurs (secteurs industriel et médical) susceptibles d'être exposés aux rayonnements ionisants requiert l'utilisation de dosimètres testés et étalonnés dans des champs de rayonnements permettant de couvrir l'ensemble des situations rencontrées au poste de travail. Pour les photons, ces champs de rayonnements sont recommandés et décrits dans la norme internationale ISO 4037-1.

L'objet de l'étude « Dosimétrie des rayonnements photoniques de haute énergie pour la radioprotection » répond à la demande émise par les fabricants de dosimètres et les exploitants du nucléaire pour disposer de champs de rayonnements photoniques de haute énergie (4 à 9 MeV) afin de caractériser les dosimètres en vue de leur mise sur le marché (tests de type) et de les étalonner. Ce projet vise à exploiter les installations du LNHB utilisées pour les références en radiothérapie et à les adapter aux conditions de la radioprotection.

Les installations de production de champs de rayonnements photoniques de haute énergie pour les références en radioprotection sont des installations « lourdes » et rares (accélérateur de particules, réacteurs nucléaires, etc.). Elles sont très coûteuses à l'utilisation et à l'entretien. En France, à ce jour, il n'y a pas de référence dosimétrique de radioprotection pour les faisceaux de haute énergie. Cette nouvelle référence, objet du présent projet, permettra d'étendre aux hautes énergies les possibilités existantes d'étalonnage (de 8 keV à 1,3 MeV) des dosimètres et débitmètres de radioprotection au LNHB.

Les normes internationales (série ISO 4037) présentent les modes de production et les caractéristiques des champs de rayonnements nécessaires à la caractérisation des dosimètres. Les champs de rayonnements pour la radioprotection doivent être caractérisés en termes de kerma dans l'air et d'équivalents de dose. La caractérisation en termes de kerma dans l'air au moyen de chambres d'ionisation primaires (de volume connu) est un travail déjà réalisé par le LNHB sur ces faisceaux dédiés à la radioprotection et à la radiothérapie.

La caractérisation en termes d'équivalent de dose passe par la détermination de coefficients de conversion du kerma dans l'air vers les équivalents de dose. Ces derniers ont été obtenus au travers de simulations de Monte Carlo dont les données d'entrée sont les spectres en fluence au point de mesure.

Le collimateur/atténuateur (figure 1) a été défini, modélisé, fabriqué, mis en place et testé. Il est composé d'un assemblage de pièces en plexiglas, cuivre et graphite. Il permet d'obtenir un faisceau dont l'énergie moyenne est égale à 6,3 MeV. A une distance de 1 m de l'entrée de la cible, le faisceau est homogène en termes de débit de kerma dans l'air sur une surface de 900 cm² environ.



Figure 1 : Collimateur/ atténuateur installé sur le LINAC du LIST LNHB

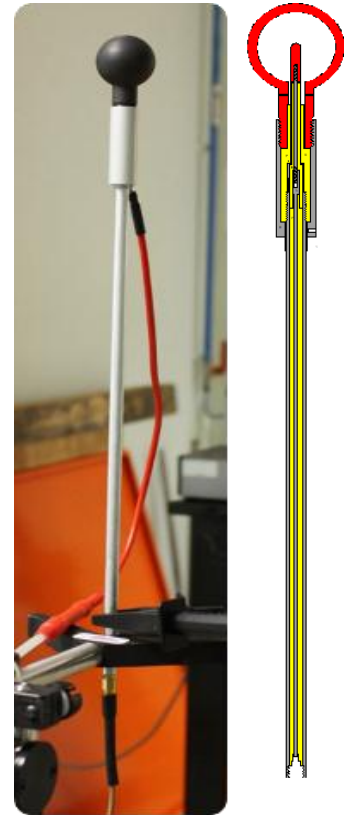


Figure 2 : Chambre d'ionisation pour la mesure absolue du kerma dans l'air

Le dosimètre absolu (chambre d'ionisation en graphite SP004) a été fabriqué, son design est fondé sur celui des chambres d'ionisation sphériques déjà utilisées au LNHB pour les références dans les faisceaux de ⁶⁰Co et de ¹³⁷Cs (figure 2). Un capuchon d'équilibre électronique (27 mm d'épaisseur) lui a été ajouté pour tenir compte de l'énergie du faisceau.

Afin de savoir si le faisceau obtenu à partir d'un faisceau de radiothérapie rentre bien dans la gamme de radioprotection en termes de débit, nous avons évalué le débit de kerma dans l'air en fonction du temps en considérant le nombre de charges mesurées par le moniteur par minute (environ $1,71 \times 10^{-9}$ coulomb moniteur/min). Les résultats sont résumés dans le Tableau 1 ci-dessous.

Estimation du débit du kerma dans l'air (faisceau de 6,3 MeV)			
Distance de mesure	Courant I (A)	K'_{air} (Gy/coulomb moniteur)	K'_{air} (Gy/h)
1 m	$-3,142 \times 10^{-12}$	$7,973 \times 10^5$	$8,180 \times 10^{-2}$
3 m	$-1,398 \times 10^{-12}$	$3,547 \times 10^5$	$3,639 \times 10^{-2}$

Tableau 1 : Estimation du débit de kerma dans l'air mesuré à Delphes.

Le coefficient de passage du kerma dans l'air vers l'équivalent de dose ambiant a été calculé sur la base du spectre de photons (calculé par simulation Monte Carlo), une valeur de 1,07 Sv/Gy a été trouvée.

ÉTUDE POUR L'ÉTABLISSEMENT D'UNE RÉFÉRENCE DE FAISCEAUX PHOTONIQUES DE HAUTE ÉNERGIE POUR LA RADIOPROTECTION

D. DUSCIAC, M. BOUDIBA, J.-M. BORDY, J. DAURES

Laboratoire National Henri Becquerel / Laboratoire de Métrologie de la Dose, CEA-Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex

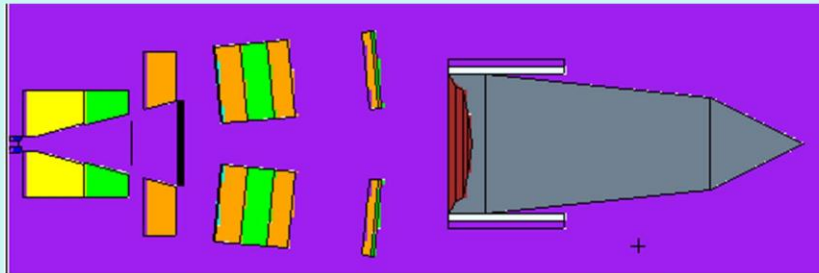


INTRODUCTION

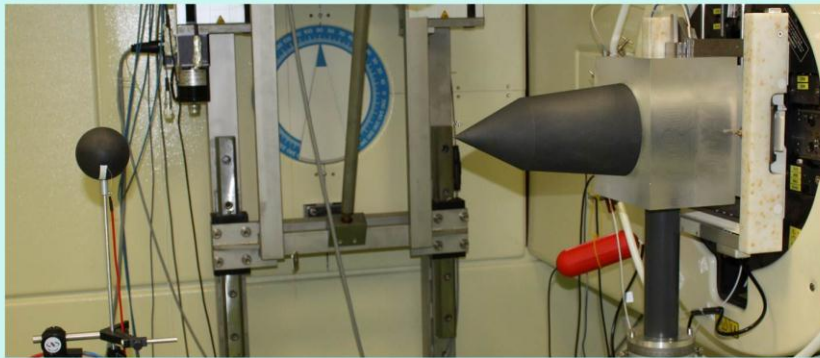
Un faisceau de radioprotection a été produit à partir d'un faisceau d'électrons de 18 MeV de l'accélérateur médical (Delphes CEA LIST LNHB) en lui ajoutant une cible en cuivre et un filtre égalisateur/atténuateur en graphite. À l'aide d'une chambre d'ionisation primaire en graphite, le débit de kerma dans l'air de référence a été déterminé. Pour pallier la difficulté de reproductibilité des faisceaux issus des accélérateurs, les mesures sont rapportées à la valeur de la charge produite dans une chambre d'ionisation très stable dite moniteur. Le débit de kerma dans l'air est ainsi exprimé en gray par coulomb moniteur.

MODE OPÉRATOIRE

Le **collimateur / atténuateur** a été défini, modélisé, fabriqué, mis en place et testé. Il est composé d'un assemblage de pièces en plexiglas, cuivre et graphite. Il permet d'obtenir **un faisceau dont l'énergie moyenne est égale à 6,2 MeV**. À une distance de 1 m de l'entrée de la cible, **le faisceau est homogène en termes de débit de kerma dans l'air sur une surface de 900 cm² environ**.

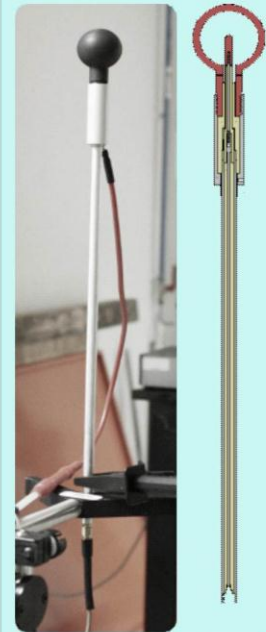


Tête de l'accélérateur Delphes et collimateur / atténuateur modélisé dans MCNP5



Collimateur / atténuateur et CI SP004 avec capuchon d'équilibre électronique (27 mm d'épaisseur) installé sur le LINAC du LIST LNHB

Le **dosimètre absolu** (chambre d'ionisation en graphite SP004) a été fabriqué. Un capuchon d'équilibre électronique (27 mm d'épaisseur) lui a été ajouté pour tenir compte de l'énergie du faisceau.



Chambre d'ionisation pour la mesure absolue du kerma dans l'air

RÉSULTATS

La valeur de référence du kerma dans l'air est obtenue au moyen de la formule suivante qui fait apparaître les facteurs de correction apportés à la mesure brute :

$$\dot{K}_{\text{air}} = \frac{I_{\text{air}}}{A_{\text{wall}}} \frac{1}{V} \frac{1}{\rho} \frac{W}{e} S_{\text{wall,air}} \left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right)_{\text{air,wall}} \frac{1}{1-g}$$

Le volume de collection, V , et l'ensemble des facteurs de correction ont été mesurés ou calculés, conduisant au bilan d'incertitude ci-dessous. L'incertitude-type globale en termes de kerma dans l'air est égale à 2,4 %.

	Valeurs	u (%)	Valeurs	u (%)
A_{wall}	9,485 E-01	0,21	$W/e S_{\text{wall,air}} (J/C)$	31,02
Volume (m ³)	4,139 E-06	0,42	$(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{air,wall}}$	1,038
ρ (kg/m ³)	1,2047	0,001	$1/(1-g_{\text{air}})$	1,024

Nous avons évalué le débit de kerma dans l'air en fonction du temps en considérant le nombre de charges aux bornes de la chambre moniteur (Q_{mon}) par minute (environ $1,71 \times 10^{-9}$ coulomb moniteur/min). Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Estimation du débit du kerma dans l'air (faisceau de 6,2 MeV)			
Distance de mesure	Courant I (A)	$\dot{K}_{\text{air}} / Q_{\text{mon}}$ (Gy/coulomb moniteur)	\dot{K}_{air} (Gy/h)
1 m	$-3,142 \times 10^{-12}$	$7,973 \times 10^5$	$8,180 \times 10^{-2}$
3 m	$-1,398 \times 10^{-12}$	$3,547 \times 10^5$	$3,639 \times 10^{-2}$

Le coefficient de passage du kerma dans l'air vers l'équivalent de dose ambiant a été calculé sur la base du spectre de photons (calculé par simulation Monte Carlo), une valeur de **1,07 Sv/Gy** a été obtenue.

CONCLUSION

Une première estimation du débit de kerma dans l'air du faisceau de photons de haute énergie est fournie. Elle est compatible avec les besoins de la radioprotection. La connaissance des distributions spectrales de la fluence de photons issus de l'accélérateur et des coefficients de conversion calculés permettent la détermination des grandeurs $H^*(10)$ et $H_p(10)$ au point de mesure.

Contact : Dorin.Dusciac@cea.fr