

---

---

**Radioprotection — Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres, et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons —**

iTeh STANDARD PREVIEW

Partie 2:

(standards.iteh.ai)

**Dosimétrie pour la radioprotection dans les gammes d'énergie de 8 keV à 1,3 MeV et de 4 MeV à 9 MeV**

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5692614-1/iso-4037-2019>  
487fbbc9fedb/iso-4037-2-2019

*Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy —*

*Part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges from 8 keV to 1,3 MeV and 4 MeV to 9 MeV*



## iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO 4037-2:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5fb9d618-158a-45ad-9021-487fbbc9fedb/iso-4037-2-2019>



### DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2019

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8  
CH-1214 Vernier, Genève  
Tél.: +41 22 749 01 11  
Fax: +41 22 749 09 47  
E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

<b>Avant-propos</b> .....	<b>v</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>vi</b>
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>2</b>
<b>4</b> <b>Instrument étalon</b> .....	<b>3</b>
4.1 Généralités.....	3
4.2 Étalonnage de l'instrument étalon.....	4
4.3 Réponse de l'instrument étalon en fonction de l'énergie.....	4
<b>5</b> <b>Passage de la grandeur mesurée kerma dans l'air, <math>K_{av}</math>, à la grandeur de mesure associée aux fantômes requise</b> .....	<b>4</b>
5.1 Généralités.....	4
5.2 Détermination des coefficients de conversion.....	6
5.2.1 Généralités.....	6
5.2.2 Calcul des coefficients de conversion à partir de la distribution en énergie de la fluence.....	6
5.3 Validation de champs de référence et de coefficients de conversion à partir de mesure dosimétrique.....	7
<b>6</b> <b>Étalonnage direct du champ de référence par rapport à la grandeur de mesure associée aux fantômes requise</b> .....	<b>8</b>
<b>7</b> <b>Procédures de mesure applicables aux chambres d'ionisation</b> .....	<b>8</b>
7.1 Conditions géométriques.....	8
7.2 Diffusion par le support et le manche de la chambre.....	9
7.3 Emplacement et orientation de la chambre étalon.....	9
7.4 Corrections applicables aux mesures.....	9
7.4.1 Généralités.....	9
7.4.2 Corrections de variations de température, de pression et d'humidité de l'air par rapport aux conditions de référence d'étalonnage.....	9
7.4.3 Correction des courants de fuite induits par le rayonnement, y compris le rayonnement ambiant.....	10
7.4.4 Collecte incomplète des ions.....	10
7.4.5 Non-uniformité du faisceau.....	10
<b>8</b> <b>Procédures additionnelles et précautions propres à la dosimétrie des rayonnements gamma de sources de type radionucléide</b> .....	<b>10</b>
8.1 Utilisation du débit certifié.....	10
8.2 Utilisation de capuchons d'équilibre électronique.....	10
8.3 Décroissance de la source radioactive.....	11
8.4 Impuretés du radionucléide.....	11
8.5 Interpolation entre des points d'étalonnage.....	11
<b>9</b> <b>Procédures additionnelles et précautions propres à la dosimétrie des rayonnements X</b> .....	<b>11</b>
9.1 Variation de l'émission de rayonnements X.....	11
9.2 Moniteur.....	11
9.3 Réglage du débit de kerma dans l'air.....	12
<b>10</b> <b>Dosimétrie des rayonnements de référence de photons d'énergie comprise entre 4 MeV et 9 MeV</b> .....	<b>13</b>
10.1 Grandeurs dosimétriques.....	13
10.2 Mesurage des grandeurs dosimétriques.....	13
10.2.1 Généralités.....	13
10.2.2 Kerma (débit) dans l'air.....	14

10.2.3	Grandeurs opérationnelles associées aux fantômes $H^*(10)$ , $H_p(10)$ , $H'(3)$ et $H_p(3)$ .....	14
10.3	Géométrie de mesure.....	14
10.4	Moniteur.....	14
10.5	Détermination du kerma (débit) dans l'air en champ non perturbé.....	15
10.5.1	Généralités.....	15
10.5.2	Conditions de mesure.....	15
10.5.3	Mesurage direct à l'aide d'une chambre d'ionisation.....	15
10.5.4	Détermination du kerma dans l'air (débit) à partir de la fluence (débit) de photons.....	19
<b>11</b>	<b>Incertitude de mesure</b> .....	<b>20</b>
11.1	Généralités.....	20
11.2	Composantes de l'incertitude.....	20
11.2.1	Généralités.....	20
11.2.2	Incertitudes sur l'étalonnage de l'étalon secondaire.....	20
11.2.3	Incertitudes de mesure du rayonnement de référence dues à l'instrument étalon et à son utilisation.....	20
11.3	Expression de l'incertitude.....	21
<b>Annexe A (normative) Détails techniques des instruments et de leur fonctionnement.....</b>		<b>22</b>
<b>Annexe B (informative) Mesurage des spectres de photons.....</b>		<b>25</b>
<b>Bibliographie.....</b>		<b>28</b>

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 4037-2:2019  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5fb9d618-158a-45ad-9021-487fbbc9fedb/iso-4037-2-2019>

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [www.iso.org/iso/fr/avant-propos](http://www.iso.org/iso/fr/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 85, *Énergie nucléaire, technologies nucléaires et radioprotection*, sous-comité SC 2, *Radioprotection*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 4037-2:1997), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 4037 se trouve sur le site web de l'ISO.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse [www.iso.org/fr/members.html](http://www.iso.org/fr/members.html).

## Introduction

L'édition de mise à jour du présent document intègre les améliorations apportées aux générateurs haute tension entre 1996 et 2017 (par exemple l'utilisation d'alimentations à découpage haute fréquence fournissant une tension quasi constante), et les mesurages spectrométriques au niveau des installations d'irradiation équipées de tels générateurs (par exemple le catalogue de spectres de rayons X de Ankerhold<sup>[1]</sup>). Elle intègre également toutes les informations publiées dans le but d'ajuster les exigences applicables aux paramètres techniques des champs de référence par rapport à l'incertitude globale ciblée comprise entre environ 6 % et 10 % pour les grandeurs opérationnelles associées aux fantômes de l'International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU).<sup>[2]</sup> Elle ne change pas le concept général de l'ISO 4037 existante.

La série de normes ISO 4037, traitant des champs de rayonnement de référence de photons, se divise en quatre parties. L'ISO 4037-1 présente les méthodes de production et de caractérisation de champs de rayonnement de référence en termes de distribution en énergie de la fluence des photons et de kerma dans l'air en champ non perturbé. Le présent document décrit la dosimétrie des qualités de rayonnement de référence en termes de kerma dans l'air et en termes des grandeurs opérationnelles associées aux fantômes de l'International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU).<sup>[2]</sup> L'ISO 4037-3 décrit les méthodes d'étalonnage et de détermination de la réponse de dosimètres et de débitmètres en termes des grandeurs opérationnelles associées aux fantômes de l'ICRU.<sup>[2]</sup> L'ISO 4037-4 présente des considérations spéciales et des exigences supplémentaires pour l'étalonnage de dosimètres de zone et individuels dans des champs de rayonnement X de référence de faible énergie, qui sont des champs de référence avec une tension génératrice inférieure ou égale à 30 kV.

Dans le présent document, deux méthodes sont spécifiées pour la détermination des grandeurs opérationnelles associées au fantôme. Les deux méthodes nécessitent un champ de référence conforme à l'ISO 4037-1. La première méthode consiste à quantifier par dosimétrie le kerma dans l'air en champ non perturbé, puis à calculer la grandeur opérationnelle choisie par l'application d'un coefficient de conversion qui définit la relation entre le kerma dans l'air en champ non perturbé et la grandeur opérationnelle choisie. Pour les champs de référence adaptés, ce coefficient de conversion est tiré de l'ISO 4037-3, pour les champs de référence caractérisés, le coefficient de conversion est déterminé par spectrométrie. La deuxième méthode, applicable aux champs de référence caractérisés, consiste à déterminer la grandeur opérationnelle choisie directement par dosimétrie. Pour tous les étalonnages, il est nécessaire d'utiliser des instruments étalons secondaires, dont la réponse en fonction de l'énergie du rayonnement est quasi constante pour la grandeur choisie.

Les procédures générales décrites dans l'ISO 29661 sont utilisées autant que possible dans le présent document. De même, les symboles utilisés sont conformes à l'ISO 29661.

# Radioprotection — Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres, et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons —

## Partie 2:

## Dosimétrie pour la radioprotection dans les gammes d'énergie de 8 keV à 1,3 MeV et de 4 MeV à 9 MeV

### 1 Domaine d'application

Le présent document définit les procédures de dosimétrie des rayonnements X et gamma de référence destinés à l'étalonnage des instruments de radioprotection dans les gammes d'énergie allant approximativement de 8 keV à 1,3 MeV et de 4 MeV à 9 MeV et pour des débits de kerma dans l'air supérieurs à 1  $\mu\text{Gy/h}$ . Les grandeurs de mesure considérées sont le kerma dans l'air en champ non perturbé,  $K_a$ , et les grandeurs opérationnelles associées aux fantômes de l'International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) [2],  $H^*(10)$ ,  $H_p(10)$ ,  $H^*(3)$ ,  $H_p(3)$ ,  $H^*(0,07)$  et  $H_p(0,07)$ , ainsi que les débits de dose respectifs. Les méthodes de production sont données dans l'ISO 4037-1.

Le présent document peut également être utilisé pour les qualités de rayonnement spécifiées dans l'ISO 4037-1:2019, Annexes A, B et C, mais cela ne signifie pas qu'un certificat d'étalonnage pour les qualités de rayonnement décrites dans ces annexes est conforme aux exigences de l'ISO 4037.

Les exigences et méthodes données dans le présent document ciblent une incertitude globale ( $k = 2$ ) de la valeur (de débit) de dose d'environ 6 % à 10 % pour les grandeurs opérationnelles associées aux fantômes dans les champs de référence. À cet effet, deux méthodes de production des champs de référence sont proposées dans l'ISO 4037-1.

La première consiste à produire des «*champs de référence adaptés*» qui suivent si étroitement les exigences qu'il est possible d'utiliser les coefficients de conversion recommandés. Les «*champs de référence adaptés*» ne présentent qu'une légère différence de distribution spectrale par rapport au champ de référence nominal, qui est validée par des procédures qui sont données et décrites en détail dans le présent document. Pour les champs de rayonnement de référence adaptés, les coefficients de conversion recommandés sont donnés dans l'ISO 4037-3 uniquement pour des distances spécifiées entre la source et le dosimètre, par exemple 1,0 m et 2,5 m. Pour d'autres distances, l'utilisateur doit décider si ces coefficients de conversion peuvent être utilisés.

La deuxième méthode consiste à produire des «*champs de référence caractérisés*». Soit cela est fait en déterminant les coefficients de conversion par spectrométrie, soit la valeur requise est mesurée directement en utilisant des dosimètres étalons secondaires. Cette méthode s'applique à toute qualité de rayonnement, pour toute grandeur de mesure et, le cas échéant, pour tout fantôme et tout angle d'incidence du rayonnement. Les coefficients de conversion peuvent être déterminés pour toute distance, à condition que le débit de kerma dans l'air ne soit pas inférieur à 1  $\mu\text{Gy/h}$ .

Les deux méthodes nécessitent des conditions d'équilibre électronique pour le champ de référence. Cependant, celles-ci ne sont pas toujours établies au poste de travail pour lequel le dosimètre doit être étalonné. Ceci est, en particulier, vrai à des énergies de photons hors condition d'équilibre électronique intrinsèque à la profondeur de référence  $d$ , qui dépend de la combinaison réelle de l'énergie et de la profondeur de référence  $d$ . Les électrons d'énergies supérieures à 65 keV, 0,75 MeV et 2,1 MeV peuvent seulement pénétrer respectivement 0,07 mm, 3 mm et 10 mm de tissu de l'ICRU, et les qualités de rayonnement avec des énergies de photons supérieures à ces valeurs sont considérées comme des

qualités de rayonnement hors condition d'équilibre électronique intrinsèque pour les qualités définies à ces profondeurs.

Le présent document n'est pas applicable pour la dosimétrie de champs de référence pulsés.

## 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 4037-1, *Radioprotection — Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres, et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons — Partie 1: Caractéristiques des rayonnements et méthodes de production*

ISO 4037-3, *Radioprotection — Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres, et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons — Partie 3: Étalonnage des dosimètres de zone et individuels et mesurage de leur réponse en fonction de l'énergie et de l'angle d'incidence*

ISO 4037-4, *Radioprotection — Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres, et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons — Partie 4: Étalonnage des dosimètres de zone et individuels dans des champs de référence X de faible énergie*

ISO 29661, *Champs de rayonnement de référence pour la radioprotection — Définitions et concepts fondamentaux*

ISO 80000-10, *Grandeurs et unités — Partie 10: Physique atomique et nucléaire<sup>1)</sup>*

Guide ISO/IEC 98-3, *Incertitude de mesure — Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

Guide ISO/IEC 99, *Vocabulaire international de métrologie — Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)*

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 4037-1, l'ISO 29661, l'ISO 80000-10, le Guide ISO/IEC 99, ainsi que les suivants, s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>;
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>.

### 3.1 chambre d'ionisation

détecteur d'ionisation constitué d'une chambre remplie d'un gaz approprié, dans lequel un champ électrique, insuffisamment fort pour provoquer une multiplication gazeuse, assure la collecte, sur les électrodes, des charges associées aux ions et aux électrons produits par le rayonnement ionisant dans le volume sensible du détecteur<sup>[3]</sup>

Note 1 à l'article: La chambre d'ionisation comprend le volume sensible, les électrodes de collecte et de polarisation, l'anneau de garde s'il y en a un, la paroi de la chambre, les isolants adjacents au volume sensible et tout capuchon nécessaire pour assurer l'équilibre électronique.

1) En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication ISO/FDIS 80000-10:2019.

**3.2****sous-ensemble à chambre d'ionisation**

*chambre d'ionisation* (3.1) et tout composant auquel la chambre est reliée de façon permanente, à l'exception de l'ensemble de mesure

Note 1 à l'article: Dans le cas d'une chambre reliée à un câble, le sous-ensemble comprend aussi la tige, le connecteur électrique et tout câble ou pré-amplificateur qui lui sont attachés en permanence. Dans le cas d'une chambre à fenêtre mince, il comprend toute pièce massive dans laquelle la chambre d'ionisation se trouve incluse de façon permanente.

**3.3****courant de fuite**

valeur totale du courant issu du détecteur polarisé à sa tension de fonctionnement, en l'absence de rayonnement

[SOURCE: Vocabulaire Électrotechnique International]

**3.4****ensemble de mesure**

dispositif de mesure du courant ou de la charge d'une *chambre d'ionisation* (3.1) qui traduit cette mesure sous une forme appropriée à l'affichage, au contrôle ou au stockage

**3.5****distribution de la hauteur des impulsions**

répartition du nombre d'impulsions  $N$  en fonction de la charge  $Q$  générée dans le détecteur,  $dN/dQ$

**3.6****déconvolution**

détermination de la distribution en énergie de la fluence,  $\Phi_E$ , à partir de la *distribution de la hauteur des impulsions* (3.5) (mesurée),  $dN/dQ$

**3.7****décalage du zéro**

changement brutal de la lecture d'échelle d'un *ensemble de mesure* (3.4), quelle qu'en soit la polarité, lorsque le commutateur du mode de fonctionnement passe de la position «zéro» à la position «mesure», l'entrée étant connectée à une *chambre d'ionisation* (3.1) en l'absence de rayonnement ionisant autre que le rayonnement ambiant

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 4037-2:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5fb9d618-158a-45ad-9021-487fbbc9fedb/iso-4037-2-2019>

**4 Instrument étalon****4.1 Généralités**

L'instrument à utiliser pour le mesurage des rayonnements de référence doit être un étalon primaire ou secondaire ou un autre instrument approprié, dont l'étalonnage est traçable par rapport à un étalon primaire. Généralement, celui-ci comprend un ensemble de mesure et un sous-ensemble à chambre d'ionisation. L'instrument doit être mis en œuvre comme décrit à l'Annexe A et être dédié à la mesure de la grandeur dosimétrique à mesurer. Par conséquent, différents types d'instrument pour le mesurage des grandeurs,  $K_a$ ,  $H^*(10)$ ,  $H_p(10)$ ,  $H'(3)$ ,  $H_p(3)$ ,  $H'(0,07)$  et  $H_p(0,07)$  et des fantômes appropriés sont nécessaires pour les champs de référence caractérisés. Cela signifie, pour l'exemple d'une chambre  $H_p(10)$ , qu'il est placé dans le champ de référence sans autre fantôme et que l'indication est la valeur  $H_p(10)$  au niveau du point de référence de la chambre  $H_p(10)$ . Si, pour convertir la grandeur mesurée en la grandeur requise, des coefficients de conversion conformes à l'Article 5 sont utilisés, alors un seul type d'instrument de mesure de la grandeur kerma dans l'air en champ non perturbé,  $K_a$ , suffit pour les mesurages de routine. Pour les champs de référence adaptés, un deuxième instrument, de préférence pour la profondeur de définition de 10 mm, est nécessaire aux fins d'une vérification.

## 4.2 Étalonnage de l'instrument étalon

L'instrument étalon doit être un étalon primaire ou secondaire étalonné de manière traçable pour les gammes d'énergies, les débits de kerma dans l'air et les valeurs de grandeur pour lesquels il est destiné à être utilisé. L'incertitude globale élargie ( $k = 2$ ) du coefficient d'étalonnage de cet instrument ne doit pas excéder 4 % dans la gamme d'énergie de 30 keV à 1,5 MeV et ne doit pas excéder 6 % dans les gammes d'énergies supérieures et inférieures à celle susmentionnée.

## 4.3 Réponse de l'instrument étalon en fonction de l'énergie

L'instrument étalon doit satisfaire à deux exigences. Premièrement, le rapport de la valeur maximale sur la valeur minimale de la réponse de l'instrument,  $R_{\max}/R_{\min}$ , ne doit pas dépasser les valeurs limites,  $(R_{\max}/R_{\min})_{\text{lim}}$ , données dans le [Tableau 1](#) sur toute la gamme d'énergie pour laquelle l'instrument étalon doit être utilisé. Cela est valable pour les valeurs d'énergie moyenne,  $\bar{E}(\Phi)$ , voir l'ISO 4037-1:2019, 3.8. Les exigences dépendent de la grandeur de mesure, comme indiqué dans le [Tableau 1](#). Deuxièmement, si ce rapport est déterminé pour deux qualités de rayonnement différentes d'une série donnée, qui sont voisines en termes d'énergie moyenne, ce rapport de réponse ne doit pas excéder  $1 + 0,4 \times [(R_{\max}/R_{\min})_{\text{lim}} - 1]$ . Si ces deux exigences ne peuvent être satisfaites sur toute la gamme d'énergie, la deuxième exigence doit au moins être remplie.

**Tableau 1 — Exigences relatives à la réponse de l'instrument étalon en fonction de l'énergie**

Gamme d'énergie moyenne, $\bar{E}(\Phi)$ keV	Limite supérieure du rapport de réponse $[R_{\max}/R_{\min}]_{\text{lim}}$ , dans la gamme d'énergie moyenne concernée et pour la grandeur de mesure			
	$K_a$	$H'(0,07), H_p(0,07)$	$H'(3), H_p(3)$	$H^*(10), H_p(10)$
8 à ≤30	1,2	1,2	1,3	1,4
>30	1,1	1,1	1,15	1,2

Le coefficient d'étalonnage et les facteurs de correction de l'instrument étalon se réfèrent à un spectre donné. Si la réponse de l'instrument étalon varie en fonction de l'énergie de manière non négligeable et si la distribution spectrale du rayonnement pour laquelle l'analyse par dosimétrie doit être réalisée est significativement différente de celle du rayonnement utilisé pour l'étalonnage, un facteur de correction peut devoir être appliqué. Cela peut être le cas lorsque le rayonnement utilisé pour l'étalonnage de l'instrument étalon et celui pour lequel une mesure dosimétrique doit être réalisée appartiennent à des séries différentes. Cette correction doit être effectuée dans un but précis: l'incertitude globale élargie ( $k = 2$ ) du coefficient d'étalonnage utilisé ne doit pas dépasser 5 %.

Chaque fois que cela est possible, il convient que les rayonnements de référence utilisés pour étalonner l'instrument étalon secondaire soient les mêmes que ceux utilisés pour étalonner les instruments de radioprotection.

## 5 Passage de la grandeur mesurée kerma dans l'air, $K_a$ , à la grandeur de mesure associée aux fantômes requise

### 5.1 Généralités

Si les seuls mesurages dosimétriques réalisés par un instrument étalon sont ceux du kerma dans l'air,  $K_a$ , en champ non perturbé, alors pour toutes les autres grandeurs opérationnelles associées aux fantômes  $H^*(10), H_p(10), H'(3), H_p(3), H'(0,07)$  et  $H_p(0,07)$ , des coefficients de conversion appropriés doivent être appliqués aux valeurs mesurées de kerma dans l'air. Ces coefficients de conversion doivent, en principe, être déterminés par spectrométrie pour tout champ de référence, toute grandeur de mesure et, le cas échéant, pour tout fantôme et tout angle d'incidence du rayonnement.

Le kerma dans l'air est donné par la somme du kerma de collision dans l'air,  $K_{a,\text{coll}}$ , et du kerma radiatif dans l'air,  $K_{a,\text{rad}}$ :  $K_a = K_{a,\text{coll}} + K_{a,\text{rad}}$ . Le kerma de collision dans l'air,  $K_{a,\text{coll}}$ , est lié au kerma

dans l'air par l'équation  $K_{a, \text{coll}} = K_a \cdot (1 - g_a)$ , où  $g_a$  est la fraction de l'énergie des électrons libérés par les photons qui est perdue par des processus radiatifs (rayonnement de freinage, rayonnement de fluorescence ou rayonnement d'annihilation des positrons). Les valeurs de  $(1 - g_a)$  pour le rayonnement monoénergétique sont celles de Seltzer (calculées comme décrit dans la Référence [5]) et sont indiquées dans la partie supérieure du [Tableau 2](#). Les valeurs pour les rayonnements de référence S-Cs, S-Co, R-C et R-F sont données dans la partie inférieure du [Tableau 2](#). Les valeurs sont obtenues par interpolation ou sont tirées du document de Roos et Grosswendt[8] pour S-Cs et du document PTB-Dos-32[9] pour R-C et R-F. Pour l'eau, l'air, ou pour les énergies inférieures à 1,3 MeV,  $g_a$  est inférieur à 0,003 et, en dessous de 1,5 MeV, les valeurs de  $(1 - g_a)$  peuvent être arrondies à un; voir le Rapport 47 de l'ICRU[35], [A.2.1](#).

Le kerma de collision dans l'air est la partie qui aboutit à la production d'électrons qui dissipent leur énergie d'ionisation dans ou près des traces d'électron dans le milieu. Par conséquent, lors de calculs Monte-Carlo, il est calculé comme l'énergie déposée. Dans l'ISO 29661, l'interprétation a été faite que les coefficients de conversion originaux qui étaient tirés du Rapport 57 de l'ICRU se rapportaient en fait au kerma de collision dans l'air. Cette approche est adoptée dans l'ISO 4037 de la manière suivante: pour les énergies inférieures ou égales à celle du champ de référence S-Co, les valeurs originales sont utilisées, car l'application du facteur  $(1 - g_a)$  ne modifie pas les valeurs numériques tronquées à trois chiffres significatifs. Les coefficients de conversion pour les R-C et R-F donnés dans l'ISO 4037-3 diffèrent de ceux donnés dans l'ICRU et dans la précédente édition de l'ISO 4037-3:1999 respectivement du facteur  $(1 - g_a) = 0,987$  et du facteur  $(1 - g_a) = 0,978$ .

**Tableau 2 — Valeurs caractéristiques de la correction de rayonnement de freinage**

Énergie des photons MeV	Valeur de recommandées $1 - g_a$
0,2	1,000
0,3	0,999
0,4	0,999
0,6	0,999
0,8	0,998
1,0	0,997
1,25	0,997
1,5	0,996
2,0	0,994
3,0	0,991
4,0	0,987
5,0	0,983
6,0	0,979
8,0	0,971
10,0	0,963
S-Cs <sup>a</sup>	0,998
S-Co <sup>b</sup>	0,997
R-C <sup>c</sup>	0,987
R-F <sup>c</sup>	0,978

<sup>a</sup> Valeurs obtenues par interpolation à 0,662 MeV.  
<sup>b</sup> Valeurs tirées du document de Roos et Grosswendt[8].  
<sup>c</sup> Valeurs tirées du document PTB-Dos-32[9].

Pour que la dissémination des grandeurs associées au fantôme, par exemple par des instituts nationaux de métrologie, soit la meilleure possible, la spectrométrie est nécessaire pour les qualités de rayons X avec une tension génératrice inférieure ou égale à 60 kV et pour les champs de photons de haute énergie avec des énergies supérieures à celle du champ de référence S-Co. Le kerma dans l'air,  $K_a$ , doit être

déterminé par un étalon primaire, ou au moins par un étalon directement traçable, et une spectrométrie du champ de référence doit être réalisée, par exemple, conformément à l'[Annexe B](#), la détermination du kerma et la spectrométrie étant toutes deux réalisées au niveau du point de mesure.

Pour les laboratoires d'étalonnage secondaire pour la réalisation des grandeurs associées aux fantômes et pour les champs de rayonnement de référence adaptés, les valeurs de coefficient de conversion recommandées peuvent être utilisées, lesquelles sont données dans l'ISO 4037-3. Ces coefficients sont déterminés au niveau d'une installation de production de rayons X dotée d'un générateur de haute tension constante jugé représentatif pour les rayonnements de référence spécifiés dans l'ISO 4037-1. Les grandeurs opérationnelles associées au fantôme, représentées ici par la lettre  $H$ , sont ensuite calculées comme spécifié par la [Formule \(1\)](#):

$$H = h_K \cdot K_a \quad (1)$$

où

$H$  est l'une des grandeurs opérationnelles associées aux fantômes  $H^*(10)$ ,  $H_p(10)$ ,  $H'(3)$ ,  $H_p(3)$ ,  $H'(0,07)$  ou  $H_p(0,07)$ ;

$h_K$  est le coefficient de conversion pour la grandeur considérée; et

$K_a$  est le kerma dans l'air déterminé conformément au présent document.

## 5.2 Détermination des coefficients de conversion

### 5.2.1 Généralités

La détermination des coefficients de conversion appropriés s'appuie sur la spectrométrie. Un spectromètre adéquat est utilisé pour mesurer le spectre de la qualité de rayonnement étudiée. À partir de ce spectre, le coefficient de conversion exact peut être calculé et appliqué à la valeur mesurée du kerma dans l'air,  $K_a$ , en champ non perturbé. Ce calcul utilise des coefficients de conversion applicables aux rayonnements monoénergétiques donnés par l'ICRP et l'ICRU[4] pour passer du kerma dans l'air en champ non perturbé à la grandeur associée aux fantômes étudiée. Cette analyse spectrométrique et le calcul du coefficient de conversion exact doivent, en principe, être effectués pour l'installation de production de rayons X utilisée pour produire les champs de rayonnement de référence et pour toute grandeur de mesure requise. Il est possible d'éviter la complexe analyse spectrométrique en utilisant les coefficients de conversion recommandés énumérés dans l'ISO 4037-3 pour les champs de rayonnement de référence adaptés. Cela est décrit dans [l'Article 6](#).

### 5.2.2 Calcul des coefficients de conversion à partir de la distribution en énergie de la fluence

La distribution en énergie de la fluence du champ de référence est déterminée pour chaque qualité de rayonnement  $U$ , à l'aide d'un spectromètre. Les détails concernant le spectromètre et son utilisation sont donnés à l'[Annexe B](#). La distribution en énergie de la fluence est ensuite convertie en distribution en énergie du kerma dans l'air en la multipliant par les coefficients de conversion applicables aux rayonnements monoénergétiques. Pour les coefficients de conversion applicables aux rayonnements monoénergétiques, se référer par exemple au Rapport 57 de l'ICRU[4] ou utiliser  $\Phi \cdot E \cdot (\mu_{tr}/\rho)$  en tant que coefficient de conversion. Les valeurs de  $(\mu_{tr}/\rho)$  peuvent être calculées à partir des valeurs de  $\mu_{en}$  pour l'air, tirées du Rapport 90 de l'ICRU[10], et des valeurs  $(1 - g)$  de Seltzer en utilisant  $\mu_{tr} = \mu_{en} / (1 - g)$ . Pour les valeurs  $(1 - g)$ , se reporter au [Tableau 2](#). L'intégrale de la distribution en énergie du kerma dans l'air donne le kerma dans l'air,  $K_a$ , du champ de référence avec la qualité de rayonnement,  $U$ . La distribution elle-même est ensuite multipliée par les coefficients de conversion applicables aux rayonnements monoénergétiques pour passer du kerma dans l'air à la grandeur respective,  $H^*(10)$ ,  $H_p(10)$ ,  $H'(3)$ ,  $H_p(3)$ ,  $H'(0,07)$  et  $H_p(0,07)$ , (voir l'ICRP et l'ICRU[4], ainsi que l'ISO 4037-3), afin d'obtenir le coefficient de conversion du spectre considéré. Pour  $H_p(10)$ ,  $H'(3)$ ,  $H_p(3)$ ,  $H'(0,07)$  et  $H_p(0,07)$ , les coefficients de conversion applicables aux rayonnements monoénergétiques dépendent également de l'angle  $\alpha$  entre la direction de référence du dosimètre et la direction incidente du rayonnement pour un champ de référence unidirectionnel et de plus pour  $H_p(10)$ ,  $H_p(3)$  et  $H_p(0,07)$  du type du fantôme. Ces