
**Énergie nucléaire — Rayonnements bêta
de référence —**

Partie 2:

**Concepts d'étalonnage en relation avec
les grandeurs fondamentales**

caractérisant le champ du rayonnement

(standards.iteh.ai)

Nuclear energy — Reference beta-particle radiation —

*Part 2: Calibration fundamentals related to basic quantities
characterizing the radiation field*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b0cc6c3-0273-4fc6-8148-ef6b03a83aaf/iso-6980-2-2004>



PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 6980-2:2004](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b6ecbc3-0273-4fc6-8148-ef6b03a83aaf/iso-6980-2-2004>

© ISO 2004

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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 et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax. + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	2
4 Étalonnage et traçabilité des champs de rayonnement de référence	4
5 Principes généraux pour l'étalonnage de champs de particules bêta de sources de radionucléides	5
5.1 Généralités	5
5.2 Échelle de calcul des épaisseurs équivalentes de différents matériaux	5
5.3 Caractérisation du champ de rayonnement en termes de pénétrabilité	6
6 Procédures d'étalonnage avec la chambre à extrapolation	7
6.1 Généralités	7
6.2 Détermination du débit de dose absorbée de référence de particules bêta	7
7 Étalonnages avec d'autres appareils de mesure	8
7.1 Étalonnages avec des dosimètres thermoluminescents	8
7.2 Étalonnages avec des dosimètres à émission d'exoelectrons par stimulation thermique	9
7.3 Étalonnages avec des chambres d'ionisation	9
7.4 Étalonnages avec des détecteurs à scintillations	9
8 Mesures à une incidence non perpendiculaire	9
9 Incertitudes	10
Annexe A (informative) Liste des symboles	16
Annexe B (normative) Mesures avec une chambre à extrapolation	19
Annexe C (normative) Facteurs de correction de mesure avec une chambre à extrapolation	23
Annexe D (informative) Exemple d'une analyse d'incertitude	31
Bibliographie	35

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 (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée 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.

L'ISO 6980-2 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 85, *Énergie nucléaire*, sous-comité SC 2, *Radioprotection*. Elle est la deuxième d'une série de trois normes couvrant la production, l'étalonnage et l'utilisation des champs de référence de rayonnement bêta pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres utilisés aux fins de protection. La première norme de cette série, l'ISO 6980-1 (en préparation), décrit les méthodes de production et de caractérisation de radiation de référence. La troisième norme de cette série, l'ISO 6980-3 (en préparation), décrit les modes opératoires pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres et la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie bêta et de l'angle d'incidence. La présente norme, deuxième de la série, remplace et développe les informations d'étalonnage fournies dans l'ISO 6980:1996. Le présent document décrit les modes opératoires pour la détermination du débit de dose absorbée par une profondeur de tissu de référence à partir de champs de référence de rayonnement bêta.

L'ISO 6980 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Énergie nucléaire — Rayonnement bêta de référence*:

- *Partie 1: Méthode de production*
- *Partie 2: Concepts d'étalonnage en relation avec les grandeurs fondamentales caractérisant le champ du rayonnement*
- *Partie 3: Étalonnage de dosimètres de zone et de dosimètres individuels et détermination de leur réponse en fonction de l'énergie et de l'angle d'incidence*

Énergie nucléaire — Rayonnements bêta de référence —

Partie 2:

Concepts d'étalonnage en relation avec les grandeurs fondamentales caractérisant le champ du rayonnement

1 Domaine d'application

La présente Partie de l'ISO 6980 précise les méthodes de mesure du débit de dose directionnel absorbé par un fantôme-plaque équivalent aux tissus dans les champs de rayonnement bêta de référence ISO 6980. La gamme d'énergie des isotopes émettant des particules bêta couverte par ces rayonnements de référence est comprise entre 0,066 et 3,54 MeV (énergie maximale). Les écarts par rapport à ces sources sont hors du domaine d'application de la présente norme. Alors que les mesures dans une géométrie de référence (profondeur de 0,07 mm à une incidence perpendiculaire dans un fantôme-plaque équivalent aux tissus) avec une chambre à extrapolation de référence sont traitées en détail, l'utilisation d'autres systèmes de mesure et les mesures dans d'autres géométries sont également décrites, mais de façon moins détaillée. L'équivalent de dose ambiant, $H^*(10)$ tel qu'utilisé pour la surveillance de zone des rayonnements fortement pénétrants, n'est pas une grandeur appropriée pour des rayonnements bêta, même celui qui pénètre une couche de 10 mm d'épaisseur de tissus ICRU (c'est-à-dire $E_{\max} > 2$ MeV). Si une protection adéquate est assurée à 0,07 mm, on ne sera que rarement concerné par d'autres profondeurs, par exemple 3 mm.

Le présent document est destiné à des organisations qui souhaitent établir des capacités dosimétriques de référence pour les particules bêta et il sert de guide pour la réalisation de la dosimétrie avec la chambre à extrapolation de référence pour la dosimétrie des particules bêta dans d'autres domaines. Des indications sont également fournies sur l'expression des incertitudes de mesure.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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).

VIM:1993, *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie*, deuxième édition, BIPM/CEI/FICC/ISO/OIML/UICPA/UIPPA

ISO 6980:1996, *Rayonnements bêta de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie bêta*

ICRU 31:1979, *Average Energy Required to Produce an Ion Pair*

ICRU 37:1984, *Stopping Powers for Electrons and Positrons*

ICRU 39:1985, *Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources*

ICRU 44:1989, *Tissue Substitutes in Radiation Dosimetry and Measurement*

ICRU 51:1993, *Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry*

ICRU 56:1997, *Dosimetry of External Beta Rays for Radiation Protection*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans le rapport ICRU 51, le Vocabulaire international VIM:1993, ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1

courbe d'extrapolation

courbe donnée par un tracé du courant d'ionisation corrigé par rapport à la profondeur de la chambre à extrapolation

3.2

tissu ICRU

matériau d'une densité de $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ et d'une composition massique de 76,2 % d'oxygène, 10,1 % d'hydrogène, 11,1 % de carbone et 2,6 % d'azote (voir rapport ICRU 39)

3.3

chambre d'ionisation

détecteur de rayonnements ionisants constitué d'une chambre remplie d'un gaz approprié (le plus souvent de l'air) dans laquelle un champ électrique, insuffisamment fort pour provoquer une multiplication dans le gaz, assure la collection, par les électrodes, des charges associées aux ions et aux électrons produits par le rayonnement ionisant, dans le volume de mesure du détecteur

NOTE La chambre d'ionisation comprend le volume de mesure, les électrodes de collection et de polarisation, l'électrode de garde s'il y en a une, la paroi de la chambre, les isolants adjacents au volume sensible et tout matériau supplémentaire placé sur la chambre d'ionisation pour simuler la mesure en profondeur.

3.3.1

chambre à extrapolation (ionisation)

chambre d'ionisation pouvant disposer d'un volume d'ionisation continuellement variable jusqu'à une petite valeur infinitésimale en changeant la séparation des électrodes et qui permet à l'utilisateur d'extrapoler la densité d'ionisation mesurée à un volume de collection de zéro

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

ISO 6980-2:2004

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b6ecbc3-0273-4fc6-8148-ef6b03a83aaf/iso-6980-2-2004>

3.4

densité d'ionisation

rapport de l'ionisation mesurée par unité de volume d'air

3.5

courant de fuite

I_B
courant de la chambre d'ionisation mesuré à sa tension de fonctionnement en l'absence de rayonnement

3.6

énergie bêta maximale

E_{max}
valeur la plus élevée de l'énergie des particules bêta émises par un nucléide particulier qui peut émettre un ou plusieurs spectres continus de particules bêta avec des énergies maximales variables

3.7

courant parasite

I_p
courant négatif produit par des particules bêta arrêtées dans la partie de collection de l'électrode de collection et diffusant vers cette électrode et le fil reliant cette électrode au connecteur de l'électromètre

3.8

fantômes

objets construits de façon à simuler les propriétés de diffusion et d'atténuation du corps humain

NOTE En principe, il convient d'utiliser un fantôme-plaque d'eau ISO, un fantôme-rondin ISO ou un fantôme-colonne ISO [19]. Pour les besoins de la présente norme, une plaque en méthacrylate de polyméthyle (PMMA) de $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ de section droite sur 5 cm d'épaisseur est toutefois suffisante pour simuler les propriétés de rétrodiffusion du tronc du corps humain, alors que des matériaux équivalents aux tissus, comme le polyéthylène téréphtalate (PET) sont suffisants pour simuler les propriétés d'atténuation des tissus humains (voir 5.2).

3.9**conditions de référence**

série de grandeurs d'influence pour lesquelles le facteur d'étalonnage est valable sans effectuer de correction

NOTE 1 Les conditions de référence pour la grandeur à mesurer peuvent être choisies librement en fonction des propriétés de l'instrument à étalonner. La grandeur à mesurer n'est pas une grandeur d'influence.

NOTE 2 Pour les besoins de la présente Norme internationale, les valeurs de référence de la température, de la pression atmosphérique et de l'humidité relative sont les suivantes:

- température ambiante: $T_0 = 293,15 \text{ K}$;
- pression atmosphérique: $p_0 = 101,3 \text{ kPa}$;
- humidité relative: $r_0 = 0,65$.

3.10**point de référence d'un dosimètre**

point que l'on place au point de mesure à des fins d'étalonnage ou d'essai

NOTE 1 Le point de mesure est la localisation du point de référence de la chambre à extrapolation auquel la valeur conventionnellement vraie est déterminée pendant l'étalonnage.

NOTE 2 La distance de mesurage est la distance comprise entre la source de rayonnement et le point de référence du détecteur.

3.10.1**point de référence de la chambre à extrapolation**

point auquel se réfère la mesure de la distance de la source de rayonnement à la chambre, pour une orientation donnée, le point de référence est le centre de la surface arrière de l'électrode haute tension de la chambre

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b6ecbcf3-0273-4fc6-8148-ef6b03a83aaf/iso-6980-2-2004>

3.11**dose absorbée de référence**

D_R

dose absorbée individuelle, $D_p(0,07)$, dans un fantôme-plaque de tissu ICRU avec une orientation du fantôme dans laquelle la surface du fantôme coïncide avec la direction (moyenne) du rayonnement incident

NOTE 1 La dose absorbée individuelle $D_p(0,07)$ est définie dans le rapport ICRU 51. Pour les besoins de la présente Norme internationale, cette définition est étendue à un fantôme-plaque.

NOTE 2 Le fantôme-plaque est approché avec une exactitude suffisante par le matériel entourant l'instrument normé (chambre d'extrapolation) utilisé pour le champ de rayonnement bêta.

NOTE 3 D_R est approchée avec une exactitude suffisante par la dose individuelle absorbée dans le fantôme-plaque de tissu ICRU, $D'(0,07, 0^\circ)$.

3.11.1**dose absorbée de particules bêta de référence**

$D_{R\beta}$

dose absorbée de référence $D_{R\beta}$, à une profondeur de 0,07 mm due uniquement à des particules bêta

NOTE En première approximation, le rapport $D_{R\beta}/D_R$ est donné par la correction du rayonnement de freinage k_{br} (voir C.3).

3.12**énergie maximale résiduelle**

E_{res}

valeur la plus élevée de l'énergie d'un spectre de particules bêta à la distance d'étalonnage après avoir été modifiée par diffusion et absorption

3.13

conditions normales d'essai

étendue des valeurs d'une série de grandeurs d'influence pour lesquelles un étalonnage ou une détermination de la réponse est réalisé

NOTE 1 Dans l'idéal, il convient de réaliser les étalonnages dans les conditions de référence. Comme cela n'est pas toujours réalisable (par exemple pour la pression atmosphérique ambiante) ou pratique (par exemple pour la température ambiante), un (petit) intervalle encadrant les valeurs de référence peut être utilisé. En principe, il convient, en raison de ces écarts, de corriger les déviations du facteur d'étalonnage de sa valeur obtenue dans les conditions de référence. En pratique, l'incertitude visée sert de critère pour déterminer si une grandeur d'influence doit être prise en compte de façon explicite par un facteur correctif ou si son effet peut être intégré à l'incertitude. Pendant les essais de type, toutes les valeurs des grandeurs d'influence qui ne font pas l'objet de l'essai sont fixées dans le domaine des conditions normales d'essai.

NOTE 2 L'étendue des valeurs de la température ambiante, de la pression atmosphérique et de l'humidité relative est la suivante:

- température ambiante: $t = 291,15$ à $295,15$ K;
- pression ambiante: $p = 86$ à 106 kPa;
- humidité relative: $r = 0,30$ à $0,75$.

Le fait de travailler en dehors de ces valeurs peut entraîner une diminution de l'exactitude.

3.14

équivalence aux tissus

propriété d'un matériau qui s'apparente aux propriétés d'atténuation et de diffusion de rayonnement d'un tissu ICRU

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

3.15

facteur de transmission, $T_m(\rho_m d_m; \alpha)$

rapport de la dose absorbée, $D_m(\rho_m d_m; \alpha)$, dans un milieu m à une masse surfacique, $\rho_m d_m$, et à un angle d'incidence de rayonnement, α , avec la dose absorbée, $D_m(0; 0^\circ)$, à la surface d'un fantôme

ISO 6980-2:2004

standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b6e6cbf3-0273-4f6-8148-3f611383aa/iso-6980-2-2004

3.15.1

facteur de transmission des tissus, $T_t(\rho_t d_t; \alpha)$

rapport de la dose absorbée, $D_t(\rho_t d_t; \alpha)$, dans un tissu ICRU à une masse surfacique, $\rho_t d_t$, et à un angle d'incidence de rayonnement, α , avec la dose absorbée, $D_t(0; 0^\circ)$, à la surface d'un fantôme-plaque aux tissus ICRU

3.16

point zéro

lecture de l'indicateur de profondeur de la chambre à extrapolation qui correspond à une profondeur de chambre de zéro ou à aucune séparation des électrodes

4 Étalonnage et traçabilité des champs de rayonnement de référence

Le débit de dose absorbée de référence d'un champ de rayonnement établi pour un étalonnage conformément à la présente norme doit être traçable par rapport à un étalon national reconnu. Ce lien d'étalonnage est obtenu en utilisant un étalon de transfert. Ce dernier peut être une source radioactive ou un instrument étalon de transfert approuvé. L'étalonnage du champ est valable en termes exacts uniquement au moment de l'étalonnage. Il doit être ensuite déduit, par exemple, à partir de la connaissance de la demi-vie et de la composition isotopique de la source radioactive.

La technique de mesure utilisée par un laboratoire d'étalonnage pour étalonner un appareil de mesure de particules bêta doit également être approuvée conformément aux réglementations nationales. Un instrument du même type, ou similaire, à celui qui est étalonné couramment par le laboratoire d'étalonnage doit être étalonné à la fois par un laboratoire de référence reconnu par un organisme ou une institution d'agrément du

pays et par le laboratoire d'étalonnage. Ces mesures doivent être réalisées par chaque laboratoire au moyen de ses propres méthodes d'étalonnage approuvées. Pour démontrer qu'une traçabilité adéquate a été obtenue, il convient que le laboratoire d'étalonnage obtienne le même facteur d'étalonnage, dans des limites convenues, que celui obtenu dans le laboratoire de référence. L'utilisation par le laboratoire d'étalonnage de sources et de supports normalisés qui ont été étalonnés dans un laboratoire national de référence est suffisante pour garantir la traçabilité par rapport à l'étalon national.

Il convient que la fréquence d'étalonnage d'un champ soit telle qu'il existe une confiance raisonnable pour que sa valeur n'excède pas les limites de sa spécification entre des étalonnages successifs. Il convient de réaliser l'étalonnage de l'instrument de transfert approuvé en laboratoire, et la vérification des techniques de mesure utilisées par le laboratoire d'étalonnage au moins tous les cinq ans ou chaque fois qu'il se produit des modifications significatives dans l'environnement du laboratoire ou comme spécifié par les réglementations nationales.

Pour les étalonnages utilisant des champs de particules bêta produites par des sources radioactives, la traçabilité doit être possible en utilisant une source radioactive dont le débit de dose absorbée de référence a été déterminé par un laboratoire de référence, ou bien en déterminant le débit de dose absorbée de référence à la position d'essai de l'instrument, au moyen d'un instrument de transfert convenu, étalonné par un laboratoire de référence.

5 Principes généraux pour l'étalonnage de champs de particules bêta de sources de radionucléides

5.1 Généralités

Les doses de zone et individuelle à partir du rayonnement de particules bêta sont souvent difficiles à mesurer en raison de leur non-uniformité marquée au niveau de la peau et de leur variation selon la profondeur. Pour mesurer correctement le débit de dose absorbée à un point d'un fantôme dans un champ de particules bêta, il faut disposer d'un très petit détecteur ayant des caractéristiques d'absorption et de diffusion très similaires à celles du milieu constitutif du fantôme. Dans la mesure où il n'existe pas de détecteur idéal, un compromis doit être trouvé pour ce qui concerne la taille et la composition du détecteur. Les concepts de «facteur d'échelle» et de «facteur de transmission» aident à réaliser ces compromis.

5.2 Échelle de calcul des épaisseurs équivalentes de différents matériaux

Les facteurs d'échelle ont été développés par Cross [1] pour établir le lien entre la dose absorbée déterminée d'un matériau à un autre. Ces facteurs sont fondés sur le fait que, pour des sources de particules bêta d'énergies relativement élevées, les distributions de dose dans différents milieux ont la même forme et ne diffèrent que par un facteur d'échelle, que Cross nomme η . Utilisé à l'origine pour la comparaison des courbes d'atténuation de rayons bêta dans différents milieux, où $\eta_{m,a}$, le facteur d'échelle du milieu m à l'air, était déterminé à partir des rapports d'atténuation mesurés, le concept a été étendu de sorte que, pour une source plane d'étendue latérale infinie, il s'agisse d'un faisceau isotopique ou parallèle, la dose absorbée à une masse surfacique $\rho_{m1}d_{m1}$ dans un milieu $m1$ est liée à la dose absorbée, dans le milieu $m2$, à la même masse surfacique $\rho_{m2}d_{m2}$, mais ramenée à l'échelle $\eta_{m1, m2}\rho_{m2}d_{m2}$, par:

$$D_{m1}(\rho_{m1}d_{m1}) = \eta_{m1, m2} \cdot D_{m2}(\eta_{m1, m2} \rho_{m2}d_{m2}) = \eta_{m1, m2} \cdot D_{m2}(\eta_{m1, m2} \rho_{m1}d_{m1}) \quad (1)$$

à condition que

$$\rho_{m1}d_{m1} = \rho_{m2}d_{m2} \quad (2)$$

$\eta_{m1, m2}$ est défini comme le facteur d'échelle du milieu $m1$ au milieu $m2$. Il convient de noter que les facteurs d'échelle sont les rapports, de sorte que $\eta_{m1, m2} = 1/\eta_{m2, m1}$ et $\eta_{m1, m3} = \eta_{m1, m2}\eta_{m2, m3}$.

Il convient d'avertir l'utilisateur que ce concept n'a été démontré uniquement que pour des matériaux à nombre Z ou à numéro atomique effectif, Z_m , inférieur à 18. Les valeurs de $\eta_{m,t}$ calculées pour divers matériaux relatifs au tissu sont présentées au Tableau 1 [2].

Supposons que m_2 soit un tissu et que m_1 soit un milieu m , l'Équation 1 donne

$$D_m(\rho_m d_m) = \eta_{m,t} \cdot D_t(\eta_{m,t} \rho_m d_m) \tag{3}$$

Considérons une autre profondeur, d'_m dans un milieu m , on obtient une équation similaire

$$D_m(\rho_m d'_m) = \eta_{m,t} \cdot D_t(\eta_{m,t} \rho_m d'_m) \tag{4}$$

Le rapport de la dose absorbée à une profondeur arbitraire ce celle de la surface $d'_m = 0$ est défini comme le facteur de transmission. En réalisant cette substitution et en divisant l'Équation 3 par l'Équation 4, on obtient:

$$T_m(\rho_m d_m) = \frac{D_m(\rho_m d_m)}{D_m(0)} = \frac{D_t(\eta_{m,t} \rho_m d_m)}{D_t(0)} \tag{5}$$

ou

$$T_m(\rho_m d_m) = T_t(\eta_{m,t} \rho_m d_m) \tag{6}$$

La transmission à travers une couche de tissu d'épaisseur, $\eta_{m,t} \rho_m d_m$, dans le tissu est égale à la transmission à travers une couche d'un milieu m d'épaisseur $\rho_m d_m$. Ainsi, l'épaisseur $\rho_m d_m$ est dite équivalente au tissu d'une épaisseur de $\eta_{m,t} \rho_m d_m$ puisque les transmissions sont égales. Il est possible de définir l'épaisseur équivalente de tissu d_t^m comme

$$d_t^m = \eta_{m,t} \rho_m d_m \rho_t^{-1} \tag{7}$$

ISO 6980-2:2004
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b6ecbc3-0273-4fc6-8148-ef6b03a83aaf/iso-6980-2-2004>

En général la dose et les facteurs de transmission sont fonctions des deux la profondeur et l'angle d'incidence dans un milieu. Quand ils sont exprimés comme ci dessus avec aucun angle donné, l'angle sera pris comme 0° .

5.3 Caractérisation du champ de rayonnement en termes de pénétrabilité

La fonction de transmission, $T(\rho_t d; \alpha)$, est un paramètre important du champ de rayonnement de référence des particules bêta. En raison de l'épaisseur finie de tous les détecteurs utilisés pour mesurer le débit de dose absorbée, il est nécessaire de caractériser le champ de rayonnement en termes de pénétrabilité avant de pouvoir l'étalonner correctement. Dans la mesure où la fluence énergétique des particules bêta dans un champ varie au fur et à mesure qu'elles pénètrent dans le milieu, la dose relative en fonction de la profondeur (ou fonction profondeur dose) dans un milieu doit être déterminée avec un détecteur insensible aux variations de fluence énergétique. Pour cette raison, la fonction relative profondeur-dose doit être déterminée avec une chambre fine d'ionisation d'air (2 mm ou moins). Une méthode recommandée pour cette détermination avec la chambre à extrapolation est donnée en référence [24]. Les fonctions profondeur-dose sont ensuite utilisées pour construire les fonctions de transmission, dont des exemples sont illustrés à la Figure 1. Les fonctions de transmission mesurées, associées aux épaisseurs équivalentes aux tissus calculées, décrites ci-dessus, peuvent être utilisées pour déterminer les corrections à apporter au débit de dose absorbée mesuré pour tenir compte de la taille finie du détecteur et de l'équivalence hors milieu du matériau du détecteur. Elles peuvent également servir à tenir compte des variations du débit de dose absorbée au point de référence résultant des variations dans la densité de l'air entre la source et le point de référence, et de l'atténuation dans un matériau autre que des tissus devant le détecteur (voir Annexe C).

Pour les détecteurs épais, il faut tenir compte du fait que le débit de dose absorbée est moyenné sur le volume d'un détecteur. Le débit de dose absorbée moyenné d'un détecteur d'une épaisseur v et d'une densité ρ , dont la surface avant est à une profondeur d' dans un fantôme de densité unitaire, est donné par

$$\bar{D}_m(d, v, \rho) = \frac{\int_d^{d+\rho v} D_m(\delta) d\delta}{\rho v} = \frac{D_m(0) \int_d^{d+\rho v} T(\delta) d\delta}{\rho v} = D_m(0) \bar{T}(d, v, \rho) \quad (8)$$

Pour effectuer les mesures de champs de particules bêta, cet effet peut être compensé en déplaçant le point de référence vers la source depuis le centre d'un détecteur épais (épaisseur supérieure à environ 0,1 mm).

6 Procédures d'étalonnage avec la chambre à extrapolation

6.1 Généralités

La chambre à extrapolation est l'appareil de mesure primaire permettant de déterminer le débit de dose dans des champs de particules bêta. Il s'agit d'une chambre à plaques parallèles qui comprend des éléments permettant d'obtenir un volume variable d'ionisation, par le mouvement de l'une des plaques vers l'autre. La conception type [3] illustrée à la Figure 2 utilise une fenêtre d'entrée fixe et une électrode de collection mobile. La fenêtre d'entrée sert également d'électrode haute tension constituée d'une feuille très mince de plastique conducteur. La fenêtre doit être suffisamment mince pour ne pas atténuer exagérément le rayonnement des particules bêta, mais suffisamment solide pour ne pas être déformée lors de l'attraction vers l'électrode de collection reliée à la terre. Des feuilles en PET carbonisé d'environ $0,7 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ sont maintenant courantes dans les appareils disponibles dans le commerce. L'électrode de collection est maintenue au potentiel de la terre et définit la section droite du volume d'ionisation. Elle doit être constituée de matériau conducteur ou avoir un revêtement conducteur et doit être entourée et électriquement isolée de l'électrode de garde. Cette isolation doit être suffisamment mince pour ne pas perturber les lignes du champ électrique dans le volume de la chambre, qui sont idéalement uniformes et partout perpendiculaires aux deux électrodes. Dans la conception illustrée à la Figure 2, l'électrode de collection est en méthacrylate de polyméthyle (PMMA) revêtue d'une mince couche de matériau conducteur qui comporte une étroite rainure qui délimite la zone de collection. L'appareil doit être équipé d'un dispositif précis permettant de déterminer les modifications incrémentales de la distance entre les deux électrodes, désignée ci-après comme la profondeur de la chambre; on emploie généralement un micromètre fixé au piston qui entraîne l'électrode de collection. Une source d'alimentation CC bipolaire à tension variable est utilisée pour fournir la haute tension à l'électrode de collection, et un électromètre à bas bruit sert à mesurer le courant collecté par l'électrode de collection. L'Annexe B donne des détails sur la mesure du courant d'ionisation.

6.2 Détermination du débit de dose absorbée de référence de particules bêta

La détermination du débit de dose absorbée dans les tissus dû à des particules bêta mesuré avec une chambre à extrapolation est dérivée de la relation générale suivante:

$$\dot{D}_t = \frac{\bar{W}_0}{e} s_{t,a} \left[\frac{\Delta I}{\Delta m_a} \right]_{\text{BG}} \quad (9)$$

où ΔI est l'incrément du courant d'ionisation et Δm_a est l'incrément de la masse d'air dans le volume de collection dans les conditions de Bragg-Gray (BG). Malheureusement, les conditions de Bragg-Gray (BG) ne sont généralement pas réalisées dans les mesures des champs de rayonnement de référence de particules bêta, et pour surmonter cette difficulté, diverses corrections sont appliquées. Le débit de dose absorbée de référence de particules bêta est évalué comme suit:

$$\dot{D}_{R\beta} = \frac{(\bar{W}_0/e)}{\rho_{a0}} s_{t,a} \left[\frac{d}{d\ell} \{kk'I(\ell)\} \right]_{\ell=0} \quad (10)$$

où

(\bar{W}_0/e) est le quotient de l'énergie moyenne requise pour produire une paire d'ions dans l'air dans des conditions de référence et la charge élémentaire e , avec une valeur

recommandée de $(33,83 \pm 0,06) \text{ J C}^{-1}$ [4,5], (cette valeur peut être utilisée dans des conditions normales d'essai sans correction);

ρ_{a0} est la densité de l'air dans les conditions de référence de température, de pression et d'humidité relative;

a est la surface effective de l'électrode de collection;

$\left[\frac{d}{d\ell} \{kk'I(\ell)\} \right]_{\ell=0}$ est la valeur limite de la pente du courant corrigé par rapport à la fonction ℓ de profondeur de la chambre;

$s_{t,a}$ est le rapport entre les pouvoirs d'arrêt massiques électroniques moyens dans le tissu et l'air;

k' est le produit des facteurs de correction qui sont indépendants de la profondeur de la chambre;

k est le produit des facteurs de correction qui varient selon la profondeur de la chambre.

Les divers facteurs de correction sont décrits dans les Tableaux 2 et 3, et les méthodes permettant de les déterminer sont données à l'Annexe C. Les méthodes permettant de déterminer la pente de limitation sont indiquées à l'Annexe B.10. La grandeur $s_{t,a}$ est donnée par

$$s_{t,a} = \frac{\int_0^{E_{\max}} (\Phi_E)_t (S/\rho)_{el,t} dE}{\int_0^{E_{\max}} (\Phi_E)_t (S/\rho)_{el,a} dE} \quad (11)$$

où $(\Phi_E)_t$ est le spectre d'électrons au point de référence de la chambre à extrapolation, $(S/\rho)_{el,t}$ est le pouvoir d'arrêt massique électronique pour un électron ayant une énergie cinétique E dans un matériau équivalent aux tissus et $(S/\rho)_{el,a}$ est la grandeur correspondante pour l'air. Il est supposé que des électrons secondaires (rayons delta) déposent leur énergie là où ils sont générés pour ne pas contribuer à la fluence des électrons. La limite supérieure des intégrales est donnée par l'énergie maximale, E_{\max} , des particules bêta dans le spectre de fluence et la limite inférieure correspond à la plus faible énergie dans le spectre, indiquée ici par un zéro. En principe, ce spectre inclut également des électrons mis en mouvement par des photons du rayonnement de freinage mais leur importance est généralement négligeable.

Les valeurs pour $s_{t,a}$ ont été calculées [3] au moyen de l'Équation 11 pour plusieurs radio-isotopes de particules bêta, en s'appuyant sur l'hypothèse idéale selon laquelle les particules bêta dissipent continuellement leur énergie. Les mesures de $(\Phi_E)_t$ ont été réalisées [2,5] au moyen de spectromètres électroniques [6]. Ces données n'ont pas été corrigées pour la perte de rétrodiffusion (moins de 10 % des particules bêta incidentes ne sont pas détectées en raison de la rétrodiffusion depuis la surface du détecteur) ou pour la résolution du détecteur. Toutefois, elles peuvent être utilisées pour calculer $s_{t,a}$ avec une approche suffisamment bonne puisque $(S/\rho)_{el,m}$ ne dépend que très légèrement de l'énergie des particules bêta. Pour le moyennage, les valeurs de $(S/\rho)_{el,m}$ de Seltzer [2] ont été utilisées; les résultats sont présentés au Tableau 4.

Pour la détermination du débit de dose absorbée de référence, il convient d'ajouter une épaisseur de PET à la surface avant de la chambre à extrapolation pour que l'épaisseur totale incluant la fenêtre soit de $7,6 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$. Cette épaisseur de PET équivaut à une épaisseur de $7 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ selon la relation d'échelle traitée en 5.2.

7 Étalonnages avec d'autres appareils de mesure

7.1 Étalonnages avec des dosimètres thermoluminescents

Des dosimètres thermoluminescents minces (TLD) (moins de $25 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$) de matériaux à faible numéro atomique comme LiF, $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, $\text{Mg}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ou Al_2O_3 peuvent être utilisés de manière satisfaisante sans

nécessiter de correction pour l'épaisseur du détecteur, pour l'étalonnage de champs de rayonnement de particules bêta, pour toutes les énergies sauf les plus faibles ($E_{\max} < 200$ keV). Pour obtenir de meilleurs résultats, il convient d'étalonner ces systèmes dans des champs de rayonnement de particules bêta de référence. Toutefois, des résultats adéquats peuvent être obtenus avec des étalonnages de dose absorbée dans des faisceaux de photons de haute énergie dans des conditions d'équilibre électronique. Il est possible d'utiliser des dosimètres plus épais sans correction pour l'épaisseur s'ils sont chargés d'un matériau opaque permettant de limiter efficacement la lumière émise uniquement à la surface du dosimètre. Si des dosimètres plus épais sont utilisés, un moyen indépendant doit être utilisé pour déterminer la fonction de transmission dans le milieu concerné afin de corriger la lecture du dosimètre des effets moyens de volume (voir 5.3). Il convient de réaliser les mesures du débit de dose absorbée de référence en plaçant le centre du dosimètre à une profondeur de $7 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ dans un fantôme équivalent aux tissus.

7.2 Étalonages avec des dosimètres à émission d'exoélectrons par stimulation thermique

L'émission d'exoélectrons par stimulation thermique ou optique à partir de BeO peut servir de dosimètre pour le rayonnement de particules bêta à toutes les énergies de rayonnement de référence concernées dans la mesure où la faible énergie des exoélectrons émis limite leur émission à la seule surface extérieure (100 nm ou moins) du détecteur, ce qui les rend effectivement très minces. À l'instar des dosimètres thermoluminescents, ils sont mieux étalonnés dans des champs de rayonnement de particules bêta de référence.

7.3 Étalonages avec des chambres d'ionisation

Des chambres d'ionisation à plaques minces (quelques mm ou moins) et parallèles de volume fixe peuvent servir à étalonner des champs de rayonnement de particules bêta pour toutes les énergies sauf les plus faibles ($E_{\max} < 200$ keV). Des détecteurs plus épais sont appropriés seulement pour les énergies les plus élevées ($E_{\max} > 1$ MeV). Si elles sont étalonnées dans des champs de rayonnement de particules bêta de référence, les chambres d'ionisation à volume fixe peuvent être utilisées comme instruments de transfert pour établir la traçabilité par rapport à des étalons nationaux (voir Article 4). Il convient de réaliser les mesures sur un fantôme lorsque la paroi arrière de la chambre n'est pas suffisamment épaisse (moins de 1 cm) pour fournir une rétrodiffusion complète. <http://www.iso.org/iso/catalog/standards/sist/b6ecbc3-0273-4fc6-8148-ef6b03a83aaf/iso-6980-2-2004>

7.4 Étalonages avec des détecteurs à scintillations

De nombreux systèmes de détection ont été élaborés pour la dosimétrie des particules bêta et utilisent des scintillateurs comme éléments sensibles de détection. En mode de comptage par impulsions, ces systèmes sont très sensibles et peuvent être utilisés de manière satisfaisante pour des champs de particules bêta d'énergie élevée. Toutefois, les dimensions du scintillateur représentent un facteur déterminant en termes de dépendance énergétique de la réponse en raison des effets de volume décrits en 5.3. Ainsi, les systèmes à scintillations utilisés pour étalonner des champs de rayonnement à particules bêta doivent être étalonnés dans des champs de rayonnement à particules bêta de référence du même type que ceux pour lesquels ils seront utilisés. En mode de comptage par impulsions, il convient de veiller particulièrement aux débits de dose absorbée élevés pour tenir compte d'éventuelles pertes de comptage dues au temps mort dans le traitement des impulsions.

8 Mesures à une incidence non perpendiculaire

Les mesures effectuées à une incidence non perpendiculaire pour déterminer le débit de dose absorbée en fonction de l'angle d'incidence peuvent être réalisées avec la chambre à extrapolation et avec des dosimètres thermoluminescents minces ou à exoélectrons. Lorsque l'on utilise la chambre à extrapolation pour ces mesures, il convient de tenir compte de la dépendance angulaire de certains des facteurs de correction appliqués aux courants mesurés. La correction la plus sensible est la correction de perturbation, qu'il convient de déterminer pour chaque angle concerné à l'aide de la méthode de Böhm [7]. Lorsque des TLD minces sont utilisés, seuls les détecteurs les plus minces sont appropriés (épaisseurs effectives inférieures à $25 \mu\text{m}$) en raison des effets compliqués du volume dépendant de l'angle dans le cas des dosimètres plus épais [8].