

---

---

**Champs de rayonnement neutronique  
de référence —**

**Partie 1:  
Caractéristiques et méthodes de  
production**

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
*Neutron reference radiations fields —*  
*Part 1. Characteristics and methods of production*  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 8529-1:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5cbcf9b-c53d-4acb-97b5-3c30b45a1a69/iso-8529-1-2021>



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

ISO 8529-1:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5cbcf9b-c53d-4acb-97b5-3c30b45a1a69/iso-8529-1-2021>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2021

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  
E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos .....	iv
Introduction .....	v
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>2</b>
<b>4</b> <b>Spectre large de référence de champs de rayonnement neutronique produits avec des sources de radionucléides</b> .....	<b>3</b>
4.1    Vue d'ensemble .....	3
4.2    Types de sources d'étalonnage .....	3
4.3    Forme et gainage de la source .....	4
4.4    Composante photonique du champ de neutrons .....	5
4.5    Distribution en énergie du débit d'émission d'une source de neutrons .....	5
4.6    Débit de fluence neutronique produit par une source .....	5
4.7    Détermination du débit d'émission d'une source de neutrons .....	6
4.8    Installation d'irradiation .....	7
<b>5</b> <b>Champs de rayonnement de référence pour la détermination de la réponse des dispositifs de mesure des neutrons en fonction de l'énergie des neutrons</b> .....	<b>7</b>
5.1    Vue d'ensemble .....	7
5.2    Propriétés générales .....	7
5.3    Champs de rayonnement neutronique de référence produits par des accélérateurs de particules .....	8
5.3.1    Exigences générales .....	8
5.3.2    Énergie des particules chargées .....	9
5.3.3    Spectre neutronique .....	9
5.3.4    Contribution des neutrons parasites et diffusés .....	9
5.3.5    Mesurage et surveillance de la fluence neutronique .....	10
5.4    Champs de rayonnement neutronique de référence produits par des réacteurs .....	10
5.4.1    Exigences générales .....	10
5.4.2    Production et surveillance .....	10
<b>6</b> <b>Champs de rayonnement neutronique thermique de référence</b> .....	<b>11</b>
<b>Annexe A (informative) Représentation sous forme de tableaux et de graphiques des spectres de neutrons pour les sources de radionucléides</b> .....	<b>13</b>
<b>Annexe B (normative) Distribution en énergie du débit d'émission de neutrons pour la source de <sup>252</sup>Cf</b> .....	<b>15</b>
<b>Annexe C (informative) Caractéristiques des sources de <sup>252</sup>Cf modéré par D<sub>2</sub>O</b> .....	<b>17</b>
<b>Annexe D (informative) Caractéristiques des sources <sup>241</sup>Am-Be</b> .....	<b>21</b>
<b>Annexe E (informative) Caractéristiques de débit d'émission angulaire des sources neutroniques de radionucléides</b> .....	<b>25</b>
<b>Annexe F (normative) Débit de fluence neutronique thermique conventionnelle</b> .....	<b>28</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>30</b>

## 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*.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 8529 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

Le présent document constitue la première partie d'une série de trois Normes internationales relatives à l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres utilisés pour les besoins de la protection contre les rayonnements neutroniques. Il décrit les caractéristiques et les méthodes de production des champs de rayonnement neutronique de référence à utiliser pour des étalonnages. L'ISO 8529-2 décrit les notions fondamentales ayant trait aux grandeurs physiques caractérisant le champ de rayonnement et les modes opératoires d'étalonnage en termes généraux, en insistant sur les débitmètres actifs et l'utilisation de sources de radionucléides. L'ISO 8529-3 concerne les dosimètres destinés à la surveillance de zone et à la surveillance individuelle, en décrivant les modes opératoires respectifs d'étalonnage et de détermination de leur réponse exprimée dans les grandeurs opérationnelles de la Commission internationale sur les unités et les mesures des rayonnements (ICRU). Les coefficients de conversion servant à convertir la fluence neutronique dans ces grandeurs opérationnelles sont fournis dans l'ISO 8529-3.

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

ISO 8529-1:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5cbcf9b-c53d-4acb-97b5-3c30b45a1a69/iso-8529-1-2021>

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

ISO 8529-1:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5cbcf9b-c53d-4acb-97b5-3c30b45a1a69/iso-8529-1-2021>

# Champs de rayonnement neutronique de référence —

## Partie 1: Caractéristiques et méthodes de production

### 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les champs neutroniques de référence, s'inscrivant dans le domaine d'énergie allant des «thermiques» jusqu'à 20 MeV, destinés à l'étalonnage des dispositifs de mesure des neutrons utilisés à des fins de radioprotection et pour déterminer leur réponse en fonction de l'énergie des neutrons.

Le présent document traite uniquement des méthodes de production et de caractérisation des champs de rayonnement neutronique de référence. Les modes opératoires d'application de ces champs de rayonnement à des fins d'étalonnage sont décrits dans les références [1] et [2].

Les champs de rayonnement neutronique de référence spécifiés sont:

- les champs de neutrons issus de sources de radionucléides, y compris les champs de neutrons de sources placées dans un modérateur;
- les champs de neutrons produits par réactions nucléaires avec des particules chargées issues d'accélérateurs;
- les champs de neutrons issus de réacteurs.

Compte tenu des méthodes de production et de leur utilisation, ces champs de rayonnement neutronique de référence sont, pour les besoins du présent document, traités dans les trois articles distincts suivants:

- l'[Article 4](#) spécifie les sources de neutrons de radionucléides à spectre large destinées à l'étalonnage de dispositifs de mesure des neutrons. Il convient que ces sources soient utilisées par des laboratoires chargés de l'étalonnage de routine des dispositifs de mesure des neutrons dont la conception particulière a déjà fait l'objet d'un essai de type;
- l'[Article 5](#) spécifie les neutrons monoénergétiques produits par des accélérateurs et les neutrons produits dans des réacteurs à spectre large ou quasi monoénergétiques, destinés à déterminer la réponse de dispositifs de mesure des neutrons en fonction de l'énergie des neutrons. Ces champs de rayonnement neutronique de référence étant produits dans des laboratoires spécialisés et bien équipés, seul un minimum de détails expérimentaux est donné;
- l'[Article 6](#) spécifie les champs neutroniques thermiques qui peuvent être produits par des sources de radionucléides modérées, des accélérateurs ou des réacteurs.

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

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 29661 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 <https://www.electropedia.org/>.

#### 3.1 débit d'émission neutronique d'une source de neutrons

$B$   
quotient différentiel de  $N$  par rapport au temps,  $N$  étant le nombre de neutrons émis par la source, dans toutes les directions

$$B = \frac{dN}{dt}$$

Note 1 à l'article: L'unité du débit d'émission neutronique est  $s^{-1}$ .

#### 3.2 distribution directionnelle du débit d'émission de neutrons distribution angulaire du débit d'émission de neutrons

$B_{\Omega}$   
quotient différentiel de  $B$  par rapport à un angle solide,  $\Omega$  étant une direction spatiale spécifique

$$B_{\Omega} = \frac{dB}{d\Omega}$$

ISO 8529-1:2021  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5cbcf9b-c53d-4acb-97b5-3e30b45a1a69/iso-8529-1-2021>

Note 1 à l'article: L'unité de la distribution directionnelle du débit d'émission de neutrons est  $s^{-1} sr^{-1}$ .

#### 3.3 distribution en énergie du débit d'émission de neutrons spectre du débit d'émission de neutrons

$B_E$   
quotient différentiel de  $B$  par rapport à l'énergie,  $E$  étant l'énergie des neutrons

$$B_E = \frac{dB}{dE}$$

Note 1 à l'article: L'unité du spectre du débit d'émission de neutrons est  $s^{-1} J^{-1}$ ; une unité fréquemment utilisée est  $s^{-1} MeV^{-1}$ .

Note 2 à l'article: Les termes «spectre» et «distribution en énergie» sont considérés comme des équivalents.

Note 3 à l'article: Le débit d'émission d'une source de neutrons  $B$  est calculé d'après  $B_E$  de la façon suivante:

$$B = \int_0^{\infty} B_E dE$$

Note 4 à l'article: À une distance  $l$  d'une source ponctuelle, la distribution en énergie du débit de fluence  $\varphi_E$ , dû aux neutrons émis de façon isotrope à partir de la source ponctuelle avec un débit d'émission spectrale de neutrons  $B_E$  (en négligeant l'influence de l'air et de la matière environnante), est donné par:

$$\varphi_E = \frac{B_E}{4\pi l^2}$$



### 3.4 énergie moyenne en fluence des neutrons

$\bar{E}$   
énergie neutronique moyennée sur la distribution en énergie de la fluence

$$\bar{E} = \frac{1}{\Phi} \int_0^{\infty} E \cdot \Phi_E(E) dE$$

où  $\Phi_E(E)$  est la distribution en énergie de la fluence des neutrons et  $\Phi$  est la fluence totale.

## 4 Spectre large de référence de champs de rayonnement neutronique produits avec des sources de radionucléides

### 4.1 Vue d'ensemble

Le présent article spécifie les champs de rayonnement neutronique de référence produits par des sources radioactives particulièrement appropriées à l'étalonnage de dispositifs de mesure des neutrons (voir la référence [2]).

Des champs de neutrons thermiques de référence peuvent être obtenus en modérant les sources de radionucléides, mais ils sont traités dans l'Article 6.

### 4.2 Types de sources d'étalonnage

Les sources de radionucléides indiquées dans le [Tableau 1](#) doivent être utilisées pour produire des champs de rayonnement neutronique de référence. Les valeurs numériques indiquées dans le [Tableau 1](#) doivent uniquement être considérées comme des valeurs indicatives des caractéristiques marquantes des sources, car les propriétés d'une source particulière varient avec la construction de cette source, en raison de la diffusion et de l'absorption des rayonnements neutroniques et gamma, et en fonction des impuretés isotopiques du matériau radioactif utilisé. Par conséquent, des détails sont donnés sur le gainage de la source (voir [4.3](#)), et la méthode de détermination de l'anisotropie de l'émission neutronique est spécifiée (voir l'[Annexe E](#)).

Le  $^{252}\text{Cf}$  présente un débit d'émission de neutrons spécifique élevé et les sources de  $^{252}\text{Cf}$  sont donc comparativement petites. Étant donné leur période courte de 2,647 ans, il est nécessaire de les remplacer à intervalles réguliers.

La source de  $^{252}\text{Cf}$  modéré par  $\text{D}_2\text{O}$  est idéalement composée d'une source ponctuelle de  $^{252}\text{Cf}$  placée au centre d'une sphère d'eau lourde de 300 mm de diamètre, entourée

- a) d'une coquille de fer de 0,8 mm d'épaisseur, et
- b) d'une coquille de cadmium de 1 mm d'épaisseur.

Dans la pratique, les laboratoires de référence ont mis au point plusieurs conceptions présentant de légères différences au niveau de leurs détails de construction, tels que le guide utilisé pour positionner la source au centre de la sphère, le matériau utilisé pour contenir l'eau lourde, et la structure employée pour suspendre ou contenir la sphère modératrice. De plus, chaque assemblage modérateur présente une pureté de  $\text{D}_2\text{O}$  et une capsule de source de  $^{252}\text{Cf}$  spécifiques. L'expérience des laboratoires de référence suggère que la variabilité de la construction des sources de  $^{252}\text{Cf}$  modéré par  $\text{D}_2\text{O}$  engendre des différences non négligeables dans la distribution en énergie de la fluence des neutrons [3]. Il convient que les laboratoires caractérisent leurs sources de  $^{252}\text{Cf}$  modéré par  $\text{D}_2\text{O}$  par des simulations et des mesurages spectrométriques. Il est recommandé de procéder à des comparaisons afin de contrôler la distribution en énergie du débit d'émission de neutrons et les grandeurs moyennées sur le spectre. Un spectre représentatif de la source de  $^{252}\text{Cf}$  modéré par  $\text{D}_2\text{O}$  a été obtenu, pour les besoins du présent document, par des simulations Monte Carlo. Dans ce modèle, 11,4 % des neutrons de la source sont absorbés dans l'assemblage modérateur. Voir l'[Annexe C](#) pour obtenir des détails.

Les sources de neutrons  $^{241}\text{Am-Be} (\alpha, n)$  comprennent des alliages, mélanges ou composés appropriés d'américium, tels qu'un mélange comprimé d'oxyde d'américium et de béryllium, le cas échéant. Voir l'Annexe D pour obtenir des détails.

Outre les sources énumérées dans le Tableau 1, des sources telles que  $^{241}\text{Am-B}(\alpha, n)$ [4][5][6]  $\text{Pu-Li}(\alpha, n)$ [7][8],  $\text{Pu-Be}(\alpha, n)$ [8],  $^{241}\text{Am-F}(\alpha, n)$ [6],  $^{241}\text{Am-Li}(\alpha, n)$ [9] et  $^{244}\text{Cm}$ [10] sont également utilisées mais ne sont pas spécifiquement traitées dans le présent document<sup>1)</sup>.

**Tableau 1 — Sources des radionucléides de référence pour l'étalonnage de dispositifs de mesure des neutrons**

Source	Période $a^d$	Énergie moyenne en fluence <sup>a</sup> MeV	Débit d'émission spécifique de la source <sup>b</sup> $s^{-1} \text{ kg}^{-1}$	Rapport entre les débits d'équivalent de dose ambiant «photons» et «neutrons» <sup>c</sup>
$^{252}\text{Cf}$ (modéré par $\text{D}_2\text{O}$ )	2,647	0,57	$2,1 \times 10^{15}$	<0,18 <sup>e</sup>
$^{252}\text{Cf}$	2,647	2,13	$2,4 \times 10^{15}$	0,05 <sup>f</sup>
			$s^{-1} \text{ Bq}^{-1}$	
$^{241}\text{Am-Be}(\alpha, n)$ petite source <sup>g</sup> grande source	432,6	4,17 4,05	$6 \times 10^{-5}$	<0,035 <sup>h</sup>

<sup>a</sup> Les valeurs rapportées sont calculées en appliquant la définition de l'énergie moyenne en fluence des neutrons donnée en 3.4, aux spectres représentés sous forme de tableaux dans les Annexes B, C et D.

<sup>b</sup> Pour les sources  $^{252}\text{Cf}$ , le débit d'émission spécifique est lié à la masse de californium. Pour les sources  $^{241}\text{Am-Be}$ , il est lié à l'activité du  $^{241}\text{Am}$  et est sujet à des variations en fonction du procédé de fabrication et du degré de mélange. Pour les sources  $^{252}\text{Cf}$  et  $^{241}\text{Am-Be}$ , les valeurs sont uniquement indicatives. Pour toute source utilisée pour produire des champs de référence, une détermination du débit d'émission de neutrons est nécessaire. Des informations sur les sources sont données dans les Références [3][11][12] pour le  $^{252}\text{Cf}$  modéré, dans la Référence [13] pour le  $^{252}\text{Cf}$ , et dans les Références [4][5][14][16] pour le  $^{241}\text{Am-Be}$ .

<sup>c</sup> Calculés à partir des spectres de neutrons donnés dans les Annexes B, C et D et des coefficients de conversion spécifiés dans la Référence [17].

<sup>d</sup>  $1 a = 1$  année solaire moyenne = 31 556 926 s ou 365,242 20 jours. Les incertitudes sur la période du  $^{252}\text{Cf}$  et du  $^{241}\text{Am}$  peuvent être respectivement supposées égales à 0,1 % ( $k = 1$ ) et 0,14 % ( $k = 1$ ). La période et l'incertitude associée sont extraites de la Référence [18].

<sup>e</sup> Données extraites des Références [12][19].

<sup>f</sup> Pour un gainage d'acier d'environ 2,5 mm d'épaisseur. Le spectre gamma de faible énergie du  $^{252}\text{Cf}$  est facilement protégé par la petite quantité d'acier du gainage. D'autres détails de construction sont susceptibles d'affecter le rapport. Des données relatives à la composante photonique du champ de  $^{252}\text{Cf}$  sont disponibles dans les Références [20][22].

<sup>g</sup> Pour obtenir la définition des «petites» et «grandes» sources  $^{241}\text{Am-Be}$ , voir l'Annexe D.

<sup>h</sup> Pour les sources encapsulées dans un blindage en plomb supplémentaire de 1 mm à 2 mm d'épaisseur, voir 4.4 pour obtenir de plus amples informations.

### 4.3 Forme et gainage de la source

La forme idéale de la source serait sphérique, mais elle est cylindrique dans la majorité des sources réelles. Dans ce dernier cas, il est préférable que le diamètre et la longueur soient sensiblement identiques. Il convient que l'épaisseur du gainage soit uniforme et faible par rapport au diamètre extérieur. Pour une source  $^{241}\text{Am-Be}(\alpha, n)$ , la distribution spectrale, principalement dans le domaine d'énergie inférieur à environ 2 MeV, dépend, dans une certaine mesure, de la taille et de la composition de la source[5][15][16]. Voir l'Annexe D pour obtenir de plus amples détails.

Il convient que les sources soient conformes aux exigences de gainage[23] de l'ISO 2919.

1) ) Les sources  $(\alpha, n)$  à base de plutonium peuvent en fait inclure plusieurs isotopes du plutonium, tels que  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  et  $^{242}\text{Pu}$ .

#### 4.4 Composante photonique du champ de neutrons

En ce qui concerne le  $^{252}\text{Cf}$ , le rapport entre les débits d'équivalent de dose ambiant «photons» et «neutrons» dépend de l'âge de la source, en raison de l'accumulation de produits de fission émetteurs gamma, ainsi que du gainage de la source. La valeur de 5 % indiquée dans le [Tableau 1](#) se rapporte à de nouvelles sources. Au cours des 30 premières années, cette valeur restera probablement inférieure à 10 %<sup>[20][22]</sup>.

La source  $^{241}\text{Am-Be}(\alpha,n)$  peut être recouverte d'un blindage en plomb afin de réduire la composante gamma. Une épaisseur de 1 mm à 2 mm réduit le débit d'équivalent de dose «photons» et «neutrons» à moins de 3,5 %<sup>[20][21][23]</sup>. Ce rapport ne dépend pas de l'activité de l'americium et du gainage de la source. Le blindage en plomb produit une modification négligeable (inférieure à 1 %) du débit d'équivalent de dose «neutrons». En l'absence de blindage en plomb, le débit d'équivalent de dose «photons» et «neutrons» (provenant principalement du rayonnement gamma de 59,5 keV) dépend de la construction de la source. Sur la base des données bibliographiques<sup>[20]</sup>, il diminue à mesure que la taille physique de la source augmente. Les valeurs types pour les sources nues sont de 50 % pour les petites sources (de l'ordre de 37 GBq), 30 % et 20 % pour les grandes sources (370 GBq et 555 GBq respectivement).

#### 4.5 Distribution en énergie du débit d'émission d'une source de neutrons

Dans le présent document, les représentations des spectres de neutrons sous forme de tableaux et de graphiques sont traitées à l'[Annexe A](#).

La distribution en énergie indiquée à l'[Annexe B](#) doit être utilisée pour les sources  $^{252}\text{Cf}$ .

Le spectre de la source  $^{252}\text{Cf}$  modéré par  $\text{D}_2\text{O}$  est affecté par les détails de construction de la sphère modératrice, la pureté du  $\text{D}_2\text{O}$  et toute matière additionnelle entourant la source. Voir l'[Annexe C](#) pour obtenir des détails.

Pour  $^{241}\text{Am-Be}$ , les sources avec différentes capsules, l'activité de l'americium, la composition chimique, la granularité de la matière active et les méthodes de construction entraînent des spectres légèrement différents. Cet aspect est traité à l'[Annexe D](#).

Les coefficients de conversion fluence-équivalent de dose moyennés sur le spectre,  $h_\Phi$ , peuvent être calculés à partir des spectres, d'après la [Formule \(1\)](#):

$$h_\Phi = \frac{1}{\Phi} \int_0^{\infty} h_\Phi(E) \Phi_E dE \quad (1)$$

où  $\Phi_E$  est supposé proportionnel à  $B_E$  et  $h_\Phi(E)$  est le coefficient de conversion fluence-équivalent de dose en fonction de l'énergie extrait de la référence [\[17\]](#).

#### 4.6 Débit de fluence neutronique produit par une source

Le débit de fluence produit par une source de neutrons est principalement déterminé à partir de son débit d'émission de neutrons,  $B$ , et de la distance entre le centre de la source et le point de mesure. Les sources de neutrons présentent généralement une émission neutronique anisotrope dans un système de coordonnées dont l'origine est au centre géométrique de la source. Le système de coordonnées est représenté sur la [Figure 1](#).

Le débit d'émission de neutrons,  $B$ , et sa distribution directionnelle,  $dB/d\Omega$ , dans la direction utilisée pour les étalonnages, doivent être déterminés (voir aussi l'[Annexe E](#)).

Pour les besoins de la détermination de la distribution directionnelle<sup>[24]</sup>, il convient que le dispositif de mesure présente le plus petit angle solide permettant d'obtenir de bonnes statistiques, ainsi qu'une dépendance énergétique suffisamment faible de la réponse en fluence afin d'éviter toute sensibilité aux variations de l'énergie en fonction de l'angle. Il est recommandé de corriger les mesurages d'anisotropie en fonction de la contribution des neutrons diffusés.

Une fois cette correction effectuée, le débit de fluence neutronique à une distance  $l$  du centre de la source dans une direction pour laquelle  $\theta = 90^\circ$  peut alors être obtenu par la [Formule \(2\)](#):

$$\varphi(l, 90^\circ) = \frac{dB}{d\Omega} \times \frac{1}{l^2} \tag{2}$$

Le débit de fluence neutronique obtenu à partir de cette expression doit aussi encore être corrigé en fonction de l'atténuation dans l'air et de la diffusion par l'air et les matériaux environnants. Ces corrections, qui sont uniquement négligeables dans des circonstances exceptionnelles, sont décrites en détail dans la référence [1].

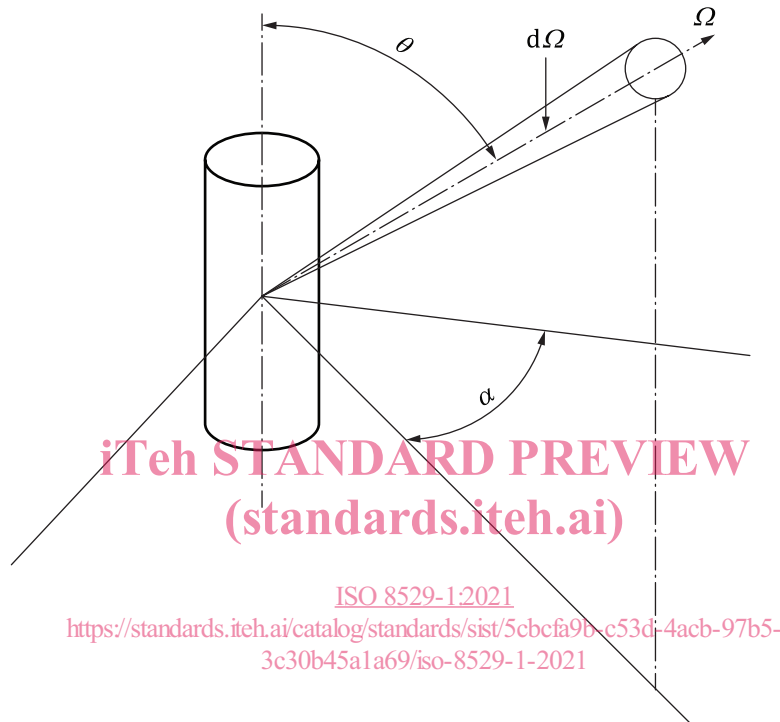


Figure 1 — Système de coordonnées pour le cas d'une source à émission anisotrope

#### 4.7 Détermination du débit d'émission d'une source de neutrons

Le débit d'émission des sources  $^{241}\text{Am-Be}(\alpha, n)$  et  $^{252}\text{Cf}$  doit être mesuré par un laboratoire de référence avant utilisation. Les laboratoires de référence peuvent généralement mesurer le débit d'émission des sources de neutrons avec une incertitude-type relative d'environ 1,5 % ( $k = 1$ ) [25].

Pour les sources d' $^{241}\text{Am-Be}(\alpha, n)$ , il est possible que les composants constitutifs puissent, au fil du temps, migrer les uns par rapport aux autres, entraînant une variation du débit d'émission de la source de neutrons.

Le débit d'émission d'une source de  $^{252}\text{Cf}$  doit être corrigé quotidiennement en fonction de la décroissance radioactive. Il est important de tenir compte de la décroissance de tous les constituants de la source, y compris du  $^{250}\text{Cf}$ , du  $^{254}\text{Cf}$  et du  $^{248}\text{Cm}$  dans les sources  $^{252}\text{Cf}$  disponibles [26]. Par conséquent, le fabricant doit fournir un certificat de composition isotopique daté et un enregistrement de la dernière fois où le curium a été retiré du matériau de la source..

Il est recommandé de contrôler le débit d'émission des sources de neutrons tous les cinq ans. Une alternative au réétalonnage des sources dans un bain de sulfate de manganèse consiste à effectuer des essais de stabilité réguliers par rapport à des instruments stables ou à d'autres sources.

Pour les sources de  $^{252}\text{Cf}$  dont l'émission neutronique attendue est supérieure à 5 % en raison de la combinaison du  $^{250}\text{Cf}$  et du  $^{248}\text{Cm}$ , il convient d'augmenter la fréquence de ces essais.

## 4.8 Installation d'irradiation

Les salles d'irradiation ont généralement des murs épais (par exemple en béton) pour des raisons de protection. Dans ce cas, il convient que les dimensions intérieures soient aussi grandes que possible. L'ampleur de la correction pour les neutrons diffusés par la salle et par l'air et l'incertitude résultante sur les grandeurs de champ, dépendent fortement des dimensions de la salle. Dans tous les cas, les effets des neutrons diffusés peuvent être caractérisés par des mesurages avec un cône d'ombre et des recherches d'écarts par rapport à la relation en  $1/l^2$  (où  $l$  est la distance entre la source de neutrons et le détecteur du point de référence). Les modes opératoires d'étalonnage recommandés sont détaillés dans la référence [1].

## 5 Champs de rayonnement de référence pour la détermination de la réponse des dispositifs de mesure des neutrons en fonction de l'énergie des neutrons

### 5.1 Vue d'ensemble

Le présent article spécifie des champs de rayonnement neutronique de référence produits par les accélérateurs de particules et les réacteurs nucléaires. Les champs avec des spectres quasi monoénergétiques peuvent être particulièrement adaptés pour la détermination de la réponse des dispositifs de mesure des neutrons en fonction de l'énergie des neutrons. Ces champs peuvent également servir à déterminer la dépendance du débit d'équivalent de dose et la dépendance directionnelle. Les champs de rayonnement spécifiés dans le présent article peuvent également être utilisés pour l'étalonnage des dispositifs de mesure des neutrons.

Des champs de neutrons thermiques peuvent être obtenus sur les réacteurs en modérant les neutrons produits par des accélérateurs de particules ou des sources neutroniques de radionucléides, mais ils sont traités dans l'Article 6.

### 5.2 Propriétés générales

Les énergies neutroniques recommandées et les méthodes employées pour leur production, ainsi que les références correspondantes, sont données dans le Tableau 2. Ces énergies ont été choisies pour des raisons pratiques incluant le taux de production, l'espacement régulier dans l'échelle logarithmique de l'énergie et la disponibilité de données en vue de comparaisons internationales. Certaines d'entre elles ont été choisies car elles peuvent être obtenues de façons multiples (voir par exemple 0,024 MeV).

D'autres énergies peuvent être utilisées, à condition qu'elles soient bien caractérisées. Des méthodes de production de ces énergies et de caractérisation des champs peuvent être trouvées dans les références [27] et [28].

Avec les accélérateurs, le domaine d'énergie des neutrons entre 2 keV et 19 MeV peut en principe être couvert en utilisant des protons et des deutérons jusqu'à 3,5 MeV, sauf pour la région de coupure (de 6 MeV à 13 MeV).

La production de neutrons monoénergétiques à  $0^\circ$  est généralement avantageuse car elle présente un maximum en termes de taux de production et un minimum de variation de l'énergie et du taux de production en fonction de l'angle. Cependant, des angles supérieurs à  $0^\circ$  peuvent également être utilisés [29], sous réserve de tenir compte de problèmes spécifiques tels que la plus grande contribution de la diffusion dans l'assemblage cible, de l'importante variation du taux de production et de l'énergie avec l'angle, et de l'augmentation de la contribution relative des photons.