
**Rayonnements neutroniques de
référence — Caractéristiques et méthodes
de production de champs de neutrons
simulant ceux de postes de travail**

*Reference neutron radiations — Characteristics and methods of production
of simulated workplace neutron fields*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 12789:2000

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/13b6e6d5-93a0-4f61-9aa4-7e691b050cc/iso-12789-2000>



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 12789:2000](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/13b6e6d5-93a0-4f61-9aa4-7e6f91b050cc/iso-12789-2000)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/13b6e6d5-93a0-4f61-9aa4-7e6f91b050cc/iso-12789-2000>

© ISO 2000

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.ch
Web www.iso.ch

Imprimé en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
Introduction.....	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Champs de neutrons simulant ceux de postes de travail	3
5 Prescriptions générales relatives à la production de spectres neutroniques simulant ceux de postes de travail	4
6 Caractérisation des champs de neutrons simulant ceux de postes de travail	5
7 Coefficients de conversion fluence-équivalent de dose	6
8 Sources d'incertitude	7
9 Expression et transcription des incertitudes	7
Annexe A (informative) Exemples de champs de neutrons simulant ceux de postes de travail	8
Bibliographie	22

ITU STANDARD PREVIEW
 (standards.iteh.ai)
 ISO 12789:2000
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/13b6e6d5-93a0-4f61-9aa4-7e691b050cc/iso-12789-2000>

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 3.

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 de la présente Norme internationale 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.

La Norme internationale ISO 12789 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 85, *Énergie nucléaire*, sous-comité SC 2, *Radioprotection*. Elle se base sur des travaux publiés par la Commission internationale de radioprotection et la Commission internationale des unités et mesures en radioprotection ainsi que sur plusieurs investigations scientifiques et technologiques qui sont l'œuvre des membres du sous-comité.

L'annexe A de la présente Norme internationale est donnée uniquement à titre d'information.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/13b6e6d5-93a0-4f61-9aa4-7e691b050cc/iso-12789-2000>

Introduction

L'ISO 8529-1, l'ISO 8529-2 et l'ISO 8529-3, traitent de la production, de la caractérisation et de l'utilisation des champs de rayonnements neutroniques pour l'étalonnage des moniteurs d'ambiance et des dosimètres individuels. Ces Normes internationales décrivent des rayonnements de référence présentant des spectres en énergie bien définis et bien adaptés à l'utilisation en laboratoire d'étalonnage. Cependant, les spectres de neutrons communément rencontrés dans les situations usuelles de radioprotection sont, dans beaucoup de cas, très différents de ceux produits par les sources spécifiées dans les Normes internationales. Étant donné que les dosimètres individuels pour les neutrons et, dans une moindre mesure, les moniteurs d'ambiance présentent une réponse en équivalent de dose très dépendante de l'énergie, il peut s'avérer impossible d'effectuer un étalonnage satisfaisant pour un appareil qui est destiné à être utilisé à un poste de travail où le spectre en énergie des neutrons et sa distribution angulaire diffèrent de manière significative de ceux du rayonnement de référence utilisé pour l'étalonnage. L'ISO 8529-1 décrit, en détail, quatre rayonnements neutroniques de référence basés sur des radio-nucléides. La présente Norme internationale comporte des rayonnements neutroniques de référence qui ont été développés afin de ressembler de manière très proche aux rayonnements qui sont rencontrés dans la pratique. À titre d'illustration, l'annexe A contient des exemples spécifiques d'installations de simulation de postes de travail munies d'une source neutron.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO 12789:2000](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/13b6e6d5-93a0-4f61-9aa4-7e691b050cc/iso-12789-2000)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/13b6e6d5-93a0-4f61-9aa4-7e691b050cc/iso-12789-2000>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 12789:2000

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/13b6e6d5-93a0-4f61-9aa4-7e6f91b050cc/iso-12789-2000>

Rayonnements neutroniques de référence — Caractéristiques et méthodes de production de champs de neutrons simulant ceux de postes de travail

1 Domaine d'application

La présente Norme Internationale donne des indications pour produire et caractériser des champs de neutrons simulant des champs de postes de travail, à utiliser pour l'étalonnage des appareils de mesure des neutrons à des fins de radioprotection. Des méthodes de calculs et de mesures spectrométriques y sont discutées. Les énergies des neutrons de ces champs de référence s'étendent approximativement des énergies thermiques à quelques centaines de GeV. Les méthodes de production et les techniques de monitoring pour les divers types de champs neutroniques sont discutées, et les méthodes d'évaluation et d'expression des incertitudes pour ces champs sont également données.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme Internationale. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

ISO 8529-1:—¹⁾, *Rayonnements neutroniques de référence — Partie 1: Caractéristiques et méthodes de production.*

ISO 8529-2:2000, *Rayonnements neutroniques de référence — Partie 2: Concepts d'étalonnage des dispositifs de radioprotection en relation avec les grandeurs fondamentales caractérisant le champ de rayonnement.*

ISO 8529-3:2000, *Rayonnements neutroniques de référence — Partie 3: Étalonnage des dosimètres de zone (ou d'ambiance) et individuels, et détermination de leur réponse en fonction de l'énergie et de l'angle d'incidence des neutrons.*

Guide pour l'Expression de l'incertitude de mesure, 1995, BIPM, CEI, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML.

3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les termes et définitions suivants s'appliquent.

NOTE 1 Les définitions suivent les recommandations du Rapport ICRU 51^[8] et du Rapport ICRU 33^[4].

NOTE 2 Les multiples et sous-multiples des unités S.I. sont aussi utilisés dans la présente Norme internationale.

1) À publier.

**3.1
fluence neutronique**

Φ
quotient de dN par da , où dN est le nombre de neutrons incidents sur une sphère de section droite da

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

NOTE L'unité de fluence neutronique est le mètre à la puissance moins deux (m^{-2}).

**3.2
débit de fluence neutronique**

φ
quotient de $d\Phi$ par dt , où $d\Phi$ est la variation de la fluence neutronique pendant l'intervalle de temps dt

$$\varphi = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d^2N}{dadt}$$

NOTE L'unité de fluence neutronique est le mètre à la puissance moins deux secondes à la puissance moins un ($m^{-2} \cdot s^{-1}$).

**3.3
distribution spectrale de la fluence neutronique**

Φ_E
quotient de $d\Phi$ par dE , où $d\Phi$ est la variation de la fluence neutronique dans l'intervalle d'énergie compris entre E et $E + dE$.

$$\Phi_E = \frac{d\Phi}{dE}$$

NOTE L'unité de distribution spectrale de la fluence neutronique est le joule à la puissance moins un mètre à la puissance moins deux ($J^{-1} \cdot m^{-2}$)

ISO 12789:2000
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/13b6e6d5-93a0-4461-9aa4-7e6f91b050cc/iso-12789-2000>

**3.4
équivalent de dose ambiant**

$H^*(d)$
(en un point d'un champ de rayonnement) l'équivalent de dose qui serait produit par le champ correspondant expansé et unidirectionnel dans la sphère ICRU, à la profondeur d , sur le rayon faisant face à la direction du champ unidirectionnel

NOTE 1 Pour un rayonnement fortement pénétrant, une profondeur de 10 mm est couramment recommandée.

NOTE 2 L'unité d'équivalent de dose ambiant est le joule kilogramme à la puissance moins un ($J \cdot kg^{-1}$). Son nom spécial est le sievert (Sv).

**3.5
équivalent de dose individuel**

$H_p(d)$
équivalent de dose dans du tissu mou, à une profondeur appropriée d sous un point spécifié du corps

NOTE 1 Pour un rayonnement fortement pénétrant, une profondeur de 10 mm est couramment recommandée.

NOTE 2 L'unité d'équivalent de dose individuel est le joule kilogramme à la puissance moins un ($J \cdot kg^{-1}$). Son nom spécial est le sievert (Sv).

NOTE 3 Le rapport ICRU 39^[5] définit la composition en masse du tissu mou comme suit: 76,2% O; 10,1% H; 11,1% C; 2,6% N.

NOTE 4 Dans son Rapport 47 [7], l'ICRU a étendu la définition de l'équivalent de dose individuel afin d'inclure l'équivalent de dose à la profondeur d , dans un fantôme ayant la composition du tissu ICRU. Ainsi, $H_p(10)$, pour l'étalonnage des dosimètres individuels, est l'équivalent de dose à la profondeur de 10 mm dans un fantôme en tissu ICRU, mais de la taille et de la forme du fantôme utilisé pour l'étalonnage (parallélépipède de dimensions 30 cm × 30 cm × 15 cm).

3.6

coefficient de conversion fluence neutronique - équivalent de dose

h_ϕ

quotient de l'équivalent de dose par la fluence neutronique

$$h_\phi = \frac{H}{\Phi}$$

NOTE 1 L'unité du coefficient de conversion fluence neutronique - équivalent de dose est le sievert mètre à la puissance deux (Sv · m²).

NOTE 2 Toute expression de coefficient de conversion fluence neutronique - équivalent de dose exige la mention du type d'équivalent de dose, c'est-à-dire: équivalent de dose ambiant ou équivalent de dose individuel.

4 Champs de neutrons simulant ceux de postes de travail

Les spectres en fluence neutronique d'un certain nombre de champs neutroniques sont disponibles depuis quelque temps [9, 10]. Ceux-ci, mesurés aux postes de travail et dans des champs d'étalonnage de poste de travail simulé, figurent dans un catalogue issu d'un travail financé par la Commission européenne [11]. Ce catalogue contient également les fonctions de réponse de détecteurs et de dosimètres d'usage courant, en plus des coefficients de conversion fluence-équivalent de dose.

Des mesures faites dans les centrales nucléaires [12 à 15], à proximité de châteaux contenant des éléments combustibles irradiés [14, 15], dans des usines de production de radioéléments émetteurs de neutrons [15, 16] et de retraitement d'éléments combustibles [17] ont démontré que les spectres en énergie des neutrons dans de tels environnements peuvent être décrits comme étant la superposition des composantes suivantes: une composante de haute énergie représentant les neutrons n'ayant pas interagi, une composante de neutrons diffusés présentant une variation approximative en $1/E_n$ (où E_n est l'énergie des neutrons), et une composante de neutrons thermiques. Pour ces types de spectres, la conception d'un champ simulé exige la connaissance et la prise en compte des composantes mentionnées plus haut, car les proportions relatives de ces composantes peuvent être très différentes selon les situations considérées.

D'autres ambiances de rayonnements peuvent contenir des neutrons ayant des énergies beaucoup plus élevées. Par exemple, des neutrons d'énergies supérieures à 10 MeV, contribuant pour 30 % à 50 % aux équivalents de dose ambiant et individuel, ont été trouvés au voisinage d'accélérateurs de particules de hautes énergies [18, 19] et à bord d'avions volant à des altitudes comprises entre 10 km et 15 km [20].

Étant donné les caractéristiques des moniteurs d'ambiance et des dosimètres disponibles, il est difficile d'obtenir à un poste de travail des mesures correctes basées sur les sources d'étalonnage spécifiées dans l'ISO 8529-1, quand le spectre au poste de travail diffère nettement de celui de la source d'étalonnage. Il peut en résulter une estimation incorrecte de l'équivalent de dose quand de tels appareils sont utilisés. Il existe au moins deux possibilités pour améliorer la situation. Premièrement, le spectre des neutrons au poste de travail peut être mesuré, et un facteur de correction calculé pour normaliser la réponse du détecteur, laquelle dépend de l'énergie. Deuxièmement, une installation peut être construite pour produire un champ de neutrons qui simule le spectre en énergie présent au poste de travail. Quand ce champ a été correctement caractérisé, il peut être utilisé directement pour l'étalonnage de dosimètres individuels et de moniteurs d'ambiance. Cette dernière approche a été employée dans un certain nombre de laboratoires, et la présente Norme donne des conseils pour produire et caractériser des spectres simulés, à fins d'étalonnage de dosimètres et moniteurs d'ambiance.

Établir au laboratoire d'étalonnage, des spectres neutroniques simulant un poste de travail est nécessaire, parce que l'agencement du laboratoire offre la possibilité de maîtriser la plupart des grandeurs influentes. Les paramètres d'environnement, tels que température et humidité, peuvent être maintenus constants. Les matériaux utilisés pour la construction des divers éléments d'un équipement peuvent aussi être spécifiés et contrôlés au laboratoire. La

disposition générale aussi bien que les sources de dispersion de neutrons peuvent aussi être maîtrisées, ou tout au moins maintenues constantes, au laboratoire d'étalonnage.

Les spectres simulés qui ont été mis en place au laboratoire d'étalonnage peuvent être utilisés pour étudier les effets des changements du spectre des neutrons sur les réponses des dosimètres individuels et des moniteurs d'ambiance. Les algorithmes de dosimètres peuvent aussi être testés au moyen de telles sources, conjointement avec les autres sources à radio-éléments recommandées dans l'ISO 8529-1. Pour ces raisons, des champs de neutrons simulant ceux de postes de travail devraient être mis à disposition pour la mise au point et l'étalonnage de moniteurs d'ambiance et de dosimètres «neutron» qui sont utilisés sur tous emplacements de postes de travail mentionnés ci-dessus.

5 Prescriptions générales relatives à la production de spectres neutroniques simulant ceux de postes de travail

Il existe trois méthodes de base pour produire des spectres simulés. Des installations d'irradiation peuvent être développées en utilisant des sources neutroniques à radio-éléments, des accélérateurs, et des réacteurs. Dans chaque cas, plusieurs types de matériaux absorbants et diffusants peuvent être placés entre la source primaire et le détecteur, dans le but de modifier le spectre initial de la source et de simuler ainsi un spectre de neutrons de poste de travail. Pour caractériser les champs de neutrons dans de telles installations, il est nécessaire de mesurer et de calculer le spectre en énergie, et de déterminer les débits de fluence neutronique spectrale et angulaire ainsi que les débits d'équivalent de dose aux positions de référence.

Il est nécessaire de déterminer aussi l'uniformité du champ dans le volume contenant le détecteur. Dans certains cas, cette détermination peut être mieux approchée par le calcul, que par les techniques expérimentales. Un moniteur d'intensité devra également être mis en œuvre, pour les sources susceptibles de varier pendant la durée de l'irradiation (comme les accélérateurs ou les réacteurs). Le moniteur devra intercepter une partie connue du champ de neutrons, mesurer une partie du champ non utilisée, ou mesurer un paramètre dont on a démontré qu'il varie en proportion directe de la production de neutrons (tels le courant du faisceau des particules chargées ou le débit de fluence des particules associées accompagnant la réaction). Si le débit de fluence du champ neutronique peut varier sur une plage importante, comme c'est souvent le cas lorsque l'on utilise un accélérateur ou un réacteur, il peut être nécessaire de disposer de plusieurs appareils de monitoring afin d'assurer de bonnes statistiques de comptage aux faibles débits de fluence tout en évitant, aux débits élevés, des pertes de comptage dues à des temps morts. C'est alors qu'il faut établir les relations entre la lecture du moniteur et l'équivalent de dose à la position de référence.

Le débit de fluence neutronique peut être déterminé soit par des mesures absolues, ou dans certains cas, par la détermination du taux d'émission de la source primaire de neutrons et par la connaissance des effets des matériaux diffusants utilisés pour modifier le spectre. Le débit d'équivalent de dose au point d'étalonnage peut alors être déterminé à partir du spectre d'énergie des neutrons et du débit de fluence neutronique en ce point, en utilisant le coefficient de conversion fluence-équivalent de dose pour le spectre (voir Tableau 1). Si la grandeur à déterminer est $H_p(10)$, il sera nécessaire de connaître les caractéristiques directionnelles du champ. On peut aussi avoir besoin de ces données pour des moniteurs d'ambiance, de façon à prendre en compte toute anisotropie de leurs caractéristiques de réponse.

La caractérisation des champs simulés devrait également inclure la détermination de la part des photons parasites présents, dès lors que ceux-ci peuvent affecter la lecture du moniteur d'ambiance ou du dosimètre individuel soumis à irradiation. De plus, la proportion relative de l'équivalent de dose «photon» présent dans le champ d'étalonnage peut être différente de cette proportion dans le champ de neutrons existant au poste de travail. Les méthodes de mesure de la fraction de l'équivalent de dose due aux photons se basent sur l'utilisation de dosimètres thermoluminescents multi-éléments (TLD), de chambres d'ionisation appariées (dites chambres «kerma»), de compteurs Geiger-Müller, de chambres à recombinaison et des compteurs proportionnels équivalent-tissu, qui peuvent séparer les événements dus aux photons de ceux dus aux neutrons [13, 14, 30].

Tableau 1 — Équivalents de dose ambiant et individuel par unité de fluence neutronique, $h^*(10)$ et $h_{p, plaque}(10, \alpha)$, en pSv · cm², pour des neutrons monoénergétiques incidents soit sur la sphère ICRU, soit sur le fantôme plaque en tissu ICRU

Énergie (MeV)	$h^*(10)$	$h_{p\phi}(10, 0^\circ)$	$h_{p\phi}(10, 15^\circ)$	$h_{p\phi}(10, 30^\circ)$	$h_{p\phi}(10, 45^\circ)$	$h_{p\phi}(10, 60^\circ)$	$h_{p\phi}(10, 75^\circ)$
$1,00 \times 10^{-9}$	6,60	8,19	7,64	6,57	4,23	2,61	1,13
$1,00 \times 10^{-9}$	9,00	9,97	9,35	7,90	5,38	3,37	1,50
$2,53 \times 10^{-8}$	10,6	11,4	10,6	9,11	6,61	4,04	1,73
$1,00 \times 10^{-7}$	12,9	12,6	11,7	10,3	7,84	4,7	1,94
$2,00 \times 10^{-7}$	3,5	13,5	12,6	11,1	8,73	5,21	2,12
$5,00 \times 10^{-7}$	13,6	14,2	13,5	11,8	9,40	5,65	2,31
$1,00 \times 10^{-6}$	13,3	14,4	13,9	12,0	9,56	5,82	2,40
$2,00 \times 10^{-6}$	12,9	14,3	14,0	11,9	9,49	5,85	2,46
$5,00 \times 10^{-6}$	12,0	13,8	13,9	11,5	9,11	5,71	2,48
$1,00 \times 10^{-5}$	11,3	13,2	13,4	11,0	8,65	5,47	2,44
$2,00 \times 10^{-5}$	10,6	12,4	12,6	10,4	8,10	5,14	2,35
$5,00 \times 10^{-5}$	9,90	11,2	11,2	9,49	7,32	4,57	2,16
$1,00 \times 10^{-4}$	9,40	10,3	9,85	8,64	6,74	4,10	1,99
$2,00 \times 10^{-4}$	8,90	9,84	9,41	8,22	6,21	3,91	1,83
$5,00 \times 10^{-4}$	8,30	9,34	8,66	7,66	5,67	3,58	1,68
$1,00 \times 10^{-3}$	7,90	8,78	8,20	7,29	5,43	3,46	1,66
$2,00 \times 10^{-3}$	7,70	8,72	8,22	7,27	5,43	3,46	1,67
$5,00 \times 10^{-3}$	8,00	9,36	8,79	7,46	5,71	3,59	1,69
$1,00 \times 10^{-2}$	10,5	11,2	10,8	9,18	7,09	4,32	1,71
$2,00 \times 10^{-2}$	16,6	17,1	17,0	14,6	11,6	6,64	2,11
$3,00 \times 10^{-2}$	23,7	24,9	24,1	21,3	16,7	9,81	2,85
$5,00 \times 10^{-2}$	41,1	39,0	36,0	34,4	27,5	16,7	4,78
$7,00 \times 10^{-2}$	60,0	59,0	55,8	52,6	42,9	27,3	8,10
$1,00 \times 10^{-1}$	88,0	90,6	87,8	81,3	67,1	44,6	13,7
$1,50 \times 10^{-1}$	132	139	137	126	106	73,3	24,2
$2,00 \times 10^{-1}$	170	180	179	166	141	100	35,5
$3,00 \times 10^{-1}$	233	246	244	232	201	149	58,5
$5,00 \times 10^{-1}$	322	335	330	326	291	226	102
$7,00 \times 10^{-1}$	375	386	379	382	348	279	139
$9,00 \times 10^{-1}$	400	414	407	415	383	317	171
$1,00 \times 10^0$	416	422	416	426	395	332	180
$1,20 \times 10^0$	425	433	427	440	412	335	210
$2,00 \times 10^0$	420	442	438	457	439	402	274
$3,00 \times 10^0$	412	431	429	449	440	412	306
$4,00 \times 10^0$	408	422	421	440	435	409	320
$5,00 \times 10^0$	405	420	418	437	435	409	331
$6,00 \times 10^0$	400	423	422	440	439	414	345
$7,00 \times 10^0$	405	432	432	449	448	425	361
$8,00 \times 10^0$	409	445	445	462	460	440	379
$9,00 \times 10^0$	420	461	462	478	476	458	399
$1,00 \times 10^1$	440	480	481	497	493	480	421
$1,20 \times 10^1$	480	517	519	536	599	523	464
$1,40 \times 10^1$	520	550	552	570	561	562	503
$1,50 \times 10^1$	540	564	565	584	575	579	520
$1,60 \times 10^1$	555	576	577	597	588	593	535
$1,80 \times 10^1$	570	595	593	617	609	615	561
$2,00 \times 10^1$	600	600	595	619	615	619	570
$3,00 \times 10^1$	515	—	—	—	—	—	—
$5,00 \times 10^1$	400	—	—	—	—	—	—
$7,50 \times 10^1$	330	—	—	—	—	—	—
$1,00 \times 10^2$	285	—	—	—	—	—	—
$1,25 \times 10^2$	260	—	—	—	—	—	—
$1,50 \times 10^2$	245	—	—	—	—	—	—
$1,75 \times 10^2$	250	—	—	—	—	—	—
$2,01 \times 10^2$	260	—	—	—	—	—	—

6 Caractérisation des champs de neutrons simulant ceux de postes de travail

6.1 Méthodes numériques

Pour la conception, la production et la caractérisation de sources neutroniques pour simulation de postes de travail utilisées à des fins d'étalonnage, on utilise des codes de calcul Monte Carlo [21]. Voici quelques directives qui devraient être suivies pour l'utilisation des méthodes numériques. Premièrement, il est recommandé que seuls des codes de calcul ayant fait l'objet de tests internationaux, ou ceux dont la comparaison à des mesures directes s'est révélée satisfaisante, soient utilisés. Il est recommandé d'indiquer la version ou le numéro de mise à jour du code. Deuxièmement, il est important de mettre par écrit les conditions initiales utilisées pour définir le problème. Ceci facilite l'inter-comparaison des résultats entre laboratoires. Dès lors que les fichiers des données nucléaires évaluées sont périodiquement mis à jour, il est également important de noter la version du jeu de données des sections efficaces utilisée. Le suivi de ces directives aidera à entretenir la cohérence dans le calcul et l'expression des spectres de neutrons calculés. Il est également prudent d'inter-comparer les calculs avec ceux effectués au moyen de codes communément utilisés.

Il est difficile d'estimer l'incertitude globale associée aux calculs Monte Carlo. Cependant, il est important d'essayer de quantifier l'incertitude pour un calcul donné, particulièrement si le spectre calculé doit être utilisé pour déterminer des données de base telles que les coefficients de conversion fluence-équivalent de dose. L'incertitude statistique peut être très faible si un nombre suffisant d'événements a été accumulé, mais une valeur faible de l'incertitude statistique ne conduit pas nécessairement à une incertitude globale faible. L'article 8 traite des sources d'incertitudes.

6.2 Méthodes spectrométriques

Dans le but de couvrir la large gamme des valeurs d'énergies neutroniques habituellement rencontrées, il est nécessaire d'utiliser un système spectrométrique qui couvre cette gamme. Un système de spectrométrie multi-sphères, par exemple. Ce système est capable d'effectuer des mesures sur une grande plage d'énergies, mais présente des limitations majeures, à savoir un pouvoir de résolution en énergie limité et un certain degré d'incertitude dans l'analyse des données. On a trouvé que les valeurs des grandeurs intégrales, comme $H^*(10)$, sont en bon accord avec d'autres mesures et calculs. Pour des applications métrologiques spécifiques [23, 24], le système de spectromètres multi-sphères peut être complété par l'utilisation de compteurs proportionnels à remplissage d'hydrogène et de détecteurs à scintillation. Dans le but de vérifier la cohérence des déterminations par spectrométrie, il est de bonne pratique de comparer les mesures issues d'un certain nombre de laboratoires. De telles comparaisons ont été effectuées par plusieurs laboratoires européens [14, 24, 25].

Les fonctions réponses de ces systèmes doivent être déterminées avec soin et il est préférable d'effectuer une simulation Monte Carlo avec un modèle de détecteur réaliste associé à des étalonnages expérimentaux effectués à l'aide de neutrons mono-énergétiques [26, 27]. Pour étendre la plage de spectrométrie aux neutrons d'énergies supérieures à 20 MeV, des détecteurs supplémentaires sont nécessaires [28, 30].

7 Coefficients de conversion fluence-équivalent de dose

Le présent article contient les données utilisées pour calculer les équivalents de dose ambiant et individuel au point de mesure pour les spectres simulés produits par les méthodes données dans la présente Norme internationale. Dans le cas de $H_p(10)$, les valeurs des coefficients de conversion sont présentées en fonction de l'angle pour le fantôme plaque ICRU. Il convient de noter que la distribution angulaire de la fluence neutronique doit être prise en compte dans l'évaluation de $H_p(10)$. Le Tableau 1, tiré de la Publication ICRP 74 [3] est destiné à faciliter le calcul des coefficients de conversion moyennés sur le spectre, pour les spectres de neutrons simulant ceux de postes de travail.

La réponse, ou le facteur d'étalonnage, d'un appareil de surveillance de zone ou d'un dosimètre individuel doit s'obtenir par détermination de la lecture et de la fluence neutronique, chacune étant corrigée des contributions indésirables, puis en appliquant le coefficient de conversion fluence-équivalent de dose approprié (se référer à l'ISO 8529-2 et l'ISO 8529-3). Le coefficient de conversion fluence-équivalent de dose pour un spectre de neutrons peut s'évaluer par le recours à la formule suivante: