NORME INTERNATIONALE

ISO 20785-2

Deuxième édition
2020-07

Dosimétrie pour l'exposition au rayonnement cosmique à bord d'un avion civil —

Partie 2: Caractérisation de la réponse des instruments

Dosimetry for exposures to cosmic radiation in civilian aircraft — Part 2: Characterization of instrument response

Numéro de référence
ISO 20785-2:2020(F)

© ISO 2020



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2020

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
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos ..... **iv**

Introduction ..... **v**

1 Domaine d'application **1**

2 Références normatives **1**

3 Termes et définitions **1**
3.1 Termes généraux 1
3.2 Termes apparentés aux grandeurs et aux unités 5
3.3 Champ de rayonnement atmosphérique 7

4 Considérations générales **8**
4.1 Champ de rayonnement cosmique dans l'atmosphère 8
4.2 Aspects généraux à considérer pour la dosimétrie du rayonnement cosmique à bord d'un avion et exigences relatives à la caractérisation de la réponse des instruments 10
4.3 Considérations générales concernant les mesurages aux altitudes de vol des avions 11

5 Champs et modes opératoires d'étalonnage **12**
5.1 Considérations générales 12
5.2 Caractérisation d'un instrument 15
5.2.1 Détermination des caractéristiques dosimétriques d'un instrument 15
5.2.2 Champs de rayonnement de référence 16
5.2.3 Rayonnement diffusé 17
5.2.4 Effet des autres types de rayonnement 17
5.2.5 Exigences relatives à la caractérisation dans des conditions différentes des conditions de référence 17
5.2.6 Utilisation de simulations numériques 18
5.3 Logiciels associés aux instruments 18
5.3.1 Modes opératoires de développement des logiciels 18
5.3.2 Essais logiciels 19
5.3.3 Analyse des données dans des feuilles de calcul 19

6 Incertitudes **19**

7 Remarques concernant les essais de performances **19**

Annexe A (informative) **Distributions en énergie représentatives de la fluence de particules pour le rayonnement cosmique à des altitudes de vol d'avion dans les conditions de période d'activité solaire minimale et maximale et pour la coupure de rigidité géomagnétique verticale minimale et maximale** **20**

Annexe B (informative) **Champs de rayonnement recommandés pour les étalonnages** **26**

Annexe C (informative) **Mesurages comparatifs** **30**

Annexe D (informative) **Installations d'irradiation de particules chargées** **32**

Bibliographie **33**

© ISO 2020 – Tous droits réservés

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).

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).

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.

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

Cette deuxième édition annule et remplace la première (ISO 20785-2:2011), qui a fait l'objet d'une révision technique. Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes :

— révision des termes et définitions ;

— mise à jour des références.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 20785 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.

© ISO 2020 – Tous droits réservés

Introduction

Le personnel navigant est exposé à des niveaux élevés de rayonnement cosmique d'origine galactique et solaire, ainsi qu'au rayonnement secondaire produit dans l'atmosphère, dans la structure de l'avion et son contenu. Suivant les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) dans la Publication 60[1], confirmées par la Publication 103[2], l'Union européenne (UE) a établi la révision d'une Directive relative aux normes de sécurité de base[3] et l'Agence internationale de l'énergie atomique (IAEA)[4] a publié une version révisée des normes de sécurité de base. Ces normes classaient parmi les expositions professionnelles le cas de l'exposition aux sources naturelles de rayonnements ionisants, y compris le rayonnement cosmique. Cette Directive de l'UE exige de prendre en compte l'exposition du personnel navigant susceptible de recevoir plus de 1 mSv par an. Elle identifie ensuite les quatre mesures de protection suivantes :

a) évaluer l'exposition du personnel concerné ;

b) prendre en compte l'exposition évaluée lors de l'organisation des programmes de travail, en vue de réduire les doses du personnel navigant le plus fortement exposé ;

c) informer les travailleurs concernés sur les risques pour la santé que leur travail implique ; et

d) appliquer les mêmes règles de protection spécifiques en cas de grossesse pour le personnel navigant féminin, eu égard à « l'enfant à naître », que pour tout autre travailleur exposé de sexe féminin.

La Directive du Conseil de l'UE a déjà été intégrée aux lois et réglementations des états membres de l'UE ainsi que dans les normes et modes opératoires de sécurité de l'aviation de l'Agence européenne pour la sécurité aérienne (European Air Safety Agency). D'autres pays tels que le Canada et le Japon ont émis des règles ou des recommandations à l'attention de leurs compagnies aériennes pour gérer la question de l'exposition du personnel navigant.

Les grandeurs de protection concernées, dans un cadre réglementaire et législatif, sont la dose équivalente (au fœtus) et la dose efficace. L'exposition de l'organisme au rayonnement cosmique est globalement uniforme et l'abdomen maternel ne fournit aucune protection particulière au fœtus. Ainsi, la dose équivalente au fœtus peut être considérée comme égale à la dose efficace reçue par la mère. Les doses liées à l'exposition à bord des avions sont généralement prévisibles, et des événements comparables à des expositions non prévues à d'autres postes de travail sous rayonnement ne peuvent pas habituellement se produire (à l'exception rare des éruptions solaires extrêmement intenses produisant des particules solaires très énergétiques). Le recours à des dosimètres individuels pour un usage de routine n'est pas considéré comme nécessaire. L'approche préférée pour l'évaluation des doses reçues par le personnel navigant, si nécessaire, consiste à calculer directement la dose efficace par unité de temps, en fonction des coordonnées géographiques, de l'altitude et de la phase du cycle solaire, et à combiner ces valeurs avec les informations concernant le vol et le tableau de service du personnel, afin d'obtenir des estimations des doses efficaces pour les individus. Cette approche est recommandée par la CIPR dans les Publications 75[5] et 132[6] et dans la directive de la Commission européenne.

Le rôle des calculs dans ce mode opératoire est unique par rapport aux méthodes d'évaluation habituellement utilisées en radioprotection et il est largement admis qu'il convient de valider les doses calculées par mesurage[7]. La dose efficace n'est pas directement mesurable. La grandeur opérationnelle utilisée est l'équivalent de dose ambiant, $H^*(10)$. Afin de valider les doses évaluées en termes de dose efficace, il est possible de calculer les débits d'équivalent de dose ambiant ou les doses pendant le vol, en termes d'équivalent de dose ambiant, ainsi que les valeurs de cette grandeur déterminées par des mesurages traçables à des étalons nationaux et en prenant correctement en compte les réponses des instruments et les incertitudes associées. La validation des calculs de l'équivalent de dose ambiant par une méthode de calcul particulière peut être considérée comme la validation du calcul de la dose efficace par le même code de calcul, mais cette étape du processus d'évaluation peut nécessiter d'être confirmée. La variante consiste à établir, a priori, que l'équivalent de dose ambiant constitue un bon estimateur de la dose efficace et de la dose équivalente destinée au fœtus pour les champs de rayonnements considérés, de la même façon que l'utilisation de l'équivalent de dose individuel est justifiée pour l'estimation de la dose efficace des travailleurs sous rayonnement au niveau du sol.

© ISO 2020 – Tous droits réservés

Le champ de rayonnement auquel est soumis un avion aux altitudes de vol est complexe, avec la présence de nombreux types de rayonnements ionisants dont les énergies peuvent atteindre plusieurs GeV. Les réponses des instruments aux particules et aux énergies du champ de rayonnement atmosphérique qui ne sont pas couvertes par les champs de référence sont soigneusement prises en compte lors de l'évaluation des résultats de mesure. Dans de nombreux cas, les méthodes employées pour déterminer l'équivalent de dose ambiant à bord d'un avion sont semblables à celles utilisées auprès d'accélérateurs haute énergie dans les laboratoires de recherche. Des méthodes dosimétriques et des méthodes d'étalonnage des dispositifs dosimétriques peuvent par conséquent être recommandées, ainsi que les techniques permettant de conserver la traçabilité des mesurages dosimétriques à des étalons nationaux. Il convient de réaliser les mesurages dosimétriques destinés à évaluer l'équivalent de dose ambiant à l'aide de méthodes précises et fiables qui assurent la qualité des relevés fournis aux travailleurs et aux autorités en charge de la réglementation. Le présent document a pour objectif de spécifier les modes opératoires permettant de déterminer les réponses des instruments dans différents champs de rayonnement de référence, lesquelles réponses serviront de base pour la caractérisation correcte des instruments utilisés pour déterminer l'équivalent de dose ambiant à bord d'un avion aux altitudes de vol.

Les exigences relatives à la détermination et à l'enregistrement de l'exposition au rayonnement cosmique du personnel navigant font partie intégrante de la législation nationale des États membres de l'UE et d'autres pays. Il est souhaitable d'harmoniser les méthodes permettant de déterminer l'équivalent de dose ambiant et d'étalonner les instruments utilisés afin de garantir la compatibilité des mesurages effectués avec de tels instruments.

Le présent document est destiné à être utilisé par les laboratoires d'étalonnages primaire et secondaire dans le domaine des rayonnements ionisants, par le personnel des services de radioprotection employé par les organismes publics et par les entreprises industrielles, intéressées par la détermination de l'équivalent de dose ambiant du personnel navigant.

 © ISO 2020 – Tous droits réservés

Dosimétrie pour l'exposition au rayonnement cosmique à bord d'un avion civil —

Partie 2:
Caractérisation de la réponse des instruments

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les méthodes et les modes opératoires permettant de caractériser les réponses des dispositifs utilisés pour déterminer l'équivalent de dose ambiant en vue de l'évaluation de l'exposition au rayonnement cosmique à bord d'un avion. Les méthodes et les modes opératoires doivent être considérés comme des exigences minimales.

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).

Guide ISO/IEC 98-1, *Incertitude de mesure — Partie 1 : Introduction à l'expression de l'incertitude de mesure*

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

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

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

— ISO Online browsing platform : disponible à l'adresse https://www.iso.org/obp ;

— IEC Electropedia : disponible à l'adresse http://www.electropedia.org/.

3.1 Termes généraux

3.1.1
angle d'incidence du rayonnement
α
angle entre la direction de l'incidence du rayonnement et la direction de référence de l'instrument

3.1.2
étalonnage
opération qui, dans des conditions spécifiées, établit une relation entre la grandeur conventionnelle, H_0, et l'indication, G

Note 1 à l'article: Un étalonnage peut être exprimé sous la forme d'un énoncé, d'une fonction d'étalonnage, d'un diagramme d'étalonnage, d'une courbe d'étalonnage ou d'une table d'étalonnage. Dans certains cas, il peut consister en une correction additive ou multiplicative de l'indication avec une incertitude de mesure associée.

© ISO 2020 – Tous droits réservés

Note 2 à l'article: Il est important de ne pas confondre l'étalonnage avec l'ajustage d'un système de mesure, souvent appelé improprement « auto-étalonnage », ni avec la vérification de l'étalonnage.

3.1.3
coefficient d'étalonnage
N_{coeff}
quotient de la valeur conventionnelle d'une grandeur à mesurer et de l'indication corrigée de l'instrument

Note 1 à l'article: Le coefficient d'étalonnage est équivalent au facteur d'étalonnage multiplié par la constante de l'instrument.

Note 2 à l'article: L'inverse du coefficient d'étalonnage, N_{coeff}, est la réponse.

Note 3 à l'article: Pour l'étalonnage de quelques instruments, par exemple les chambres d'ionisation, la constante de l'instrument et le facteur d'étalonnage ne sont pas identifiés séparément, mais sont appliqués ensemble en tant que coefficient d'étalonnage.

Note 4 à l'article: Il est nécessaire, pour éviter toute confusion, d'indiquer la grandeur à mesurer, par exemple le coefficient d'étalonnage en ce qui concerne la fluence, N_{Φ}, le coefficient d'étalonnage en ce qui concerne le kerma, N_K, ou le coefficient d'étalonnage en ce qui concerne la dose absorbée, N_D.

3.1.4
facteur d'étalonnage
N_{fact}
facteur par lequel le produit de l'indication corrigée et de la constante associée de l'instrument est multiplié afin d'obtenir la valeur conventionnelle d'une grandeur à mesurer dans les conditions de référence

Note 1 à l'article: Le facteur d'étalonnage n'a pas de dimension.

Note 2 à l'article: L'indication corrigée est l'indication de l'instrument corrigée en fonction de l'effet des grandeurs d'influence, le cas échéant.

Note 3 à l'article: La valeur du facteur d'étalonnage peut varier selon l'expression quantitative de la grandeur à mesurer. Dans de tels cas, la réponse de l'ensemble de détecteur est dite non constante.

3.1.5
valeur de la grandeur mesurée
valeur mesurée
M
valeur d'une grandeur représentant un résultat de mesure

Note 1 à l'article: Pour un mesurage impliquant des indications répétées, chacune peut être utilisée pour fournir une valeur mesurée correspondante. Cet ensemble de valeurs mesurées peut ensuite être utilisé pour calculer une valeur mesurée résultante, telle qu'une valeur moyenne ou une valeur médiane, en général avec une incertitude de mesure associée qui décroît.

Note 2 à l'article: Lorsque l'étendue des valeurs vraies considérées comme représentant le mesurande est petite par rapport à l'incertitude de mesure, une valeur mesurée peut être considérée comme une estimation d'une valeur vraie par essence unique, souvent sous la forme d'une moyenne ou d'une médiane de valeurs mesurées individuelles obtenues par des mesurages répétés.

Note 3 à l'article: Lorsque l'étendue des valeurs vraies considérées comme représentant le mesurande n'est pas petite par rapport à l'incertitude de mesure, une valeur mesurée est souvent une estimation d'une moyenne ou d'une médiane de l'ensemble des valeurs vraies.

Note 4 à l'article: Dans le Guide ISO/IEC 98-3:2008, les termes « résultat de mesure » et « estimation de la valeur du mesurande », ou simplement « estimation du mesurande », sont utilisés au sens de « valeur mesurée ».

© ISO 2020 – Tous droits réservés

3.1.6
valeur conventionnelle
valeur conventionnelle d'une grandeur
H_0
valeur attribuée à une grandeur par un accord pour un usage donné

Note 1 à l'article: Le terme « valeur conventionnellement vraie » est quelquefois utilisé pour ce concept, mais son utilisation est déconseillée.

Note 2 à l'article: Une valeur conventionnelle est quelquefois une estimation d'une valeur vraie.

Note 3 à l'article: Une valeur conventionnelle est généralement considérée comme associée à une incertitude de mesure convenablement petite, qui peut être nulle.

Note 4 à l'article: Dans la série ISO 20785[8][9][10], la valeur conventionnelle est la meilleure estimation de la valeur de la grandeur à mesurer, déterminée par un étalon primaire ou par un étalon secondaire traçable à un étalon primaire.

3.1.7
facteur de correction
k
facteur appliqué à une *indication* (3.1.9) en vue de corriger l'écart existant entre les conditions de mesure et les conditions de référence

Note 1 à l'article: Si la correction de l'effet de l'écart d'une grandeur d'influence exige un facteur, la grandeur d'influence est de type F.

3.1.8
terme de correction
G_S
terme appliqué à une *indication* (3.1.9) en vue de corriger l'indication nulle ou l'écart existant entre les conditions de mesure et les conditions de référence

Note 1 à l'article: Si la correction de l'effet de l'écart d'une grandeur d'influence exige un terme, la grandeur d'influence est de type S.

3.1.9
indication
G
valeur fournie par un instrument de mesure ou un système de mesure

Note 1 à l'article: Une indication peut être présentée sous forme visuelle ou acoustique, ou peut être transférée à un autre dispositif. Elle est souvent donnée par la position d'un pointeur sur un affichage pour les sorties analogiques, par un nombre affiché ou imprimé pour les sorties numériques, par une configuration codée pour les sorties codées, ou par la valeur assignée pour les mesures matérialisées.

Note 2 à l'article: Une indication et la valeur de la quantité mesurée correspondante ne sont pas nécessairement des valeurs de grandeurs de même nature.

3.1.10
grandeur d'influence
grandeur qui, lors d'un mesurage direct, n'a pas d'effet sur la grandeur effectivement mesurée, mais a un effet sur la relation entre l'*indication* (3.1.9) et le résultat de mesure

Note 1 à l'article: Un mesurage indirect implique une combinaison de mesurages directs, sur chacun desquels des grandeurs d'influence peuvent avoir un effet.

Note 2 à l'article: Dans le Guide ISO/IEC 98-3:2008, le concept « grandeur d'influence » est défini comme dans le Guide ISO/IEC 99:2007[11], de façon à comprendre non seulement les grandeurs qui ont un effet sur le système de mesure, comme dans la définition ci-dessus, mais aussi celles qui ont un effet sur les grandeurs effectivement mesurées. En outre, dans le Guide ISO/IEC 98-3, ce concept n'est pas limité aux mesurages directs.

© ISO 2020 – Tous droits réservés

Note 3 à l'article: La correction de l'effet de la grandeur d'influence peut exiger un facteur de correction (pour une grandeur d'influence de type F) et/ou un terme de correction (pour une grandeur d'influence de type S) à appliquer à l'indication de l'ensemble de détecteur, par exemple dans le cas de perturbations microphoniques ou électromagnétiques.

EXEMPLE L'indication donnée par une chambre d'ionisation non scellée est influencée par la température et la pression de l'atmosphère environnante. Bien qu'elles soient requises pour déterminer la valeur de la dose, le mesurage de ces deux grandeurs n'est pas l'objectif principal.

3.1.11
constante de l'instrument
c_i
valeur par laquelle l'*indication* (3.1.9) de l'instrument, G (ou, en cas de corrections ou de normalisation, G_{corr}), est multipliée pour obtenir la valeur du mesurande ou d'une grandeur à utiliser pour calculer la valeur du mesurande

Note 1 à l'article: Si l'indication de l'instrument est déjà exprimée dans les mêmes unités que le mesurande, comme c'est le cas des dosimètres de zone, par exemple, la constante de l'instrument, c_i, n'a pas de dimension. Dans de tels cas, le facteur d'étalonnage et le *coefficient d'étalonnage* (3.1.3) peuvent être identiques. Sinon, si l'indication de l'instrument doit être convertie dans les mêmes unités que le mesurande, la constante de l'instrument a une dimension.

3.1.12
mesurande
grandeur destinée à être mesurée

3.1.13
étalon primaire
étalon établi à l'aide d'un mode opératoire de mesure primaire ou créé comme objet choisi par convention

Note 1 à l'article: Un étalon primaire présente les plus hautes qualités métrologiques dans un domaine spécifié de métrologie.

3.1.14
valeur d'une grandeur
ensemble d'un nombre et d'une référence constituant l'expression quantitative d'une grandeur

Note 1 à l'article: La valeur d'une grandeur est le produit soit d'un nombre et d'une unité de mesure (l'unité « un » n'est généralement pas indiquée pour les grandeurs de dimension « un »), soit d'un nombre et d'une référence à un mode opératoire de mesure.

3.1.15
conditions de référence
conditions d'utilisation prescrites pour contrôler les performances d'un ensemble de détecteur ou pour comparer les résultats des mesurages

Note 1 à l'article: Les conditions de référence représentent les valeurs de l'ensemble de grandeurs d'influence pour lesquelles le résultat d'étalonnage est valide sans aucune correction.

Note 2 à l'article: La valeur du mesurande peut être choisie librement en accord avec les propriétés de l'ensemble de détecteur à étalonner. La grandeur à mesurer n'est pas une grandeur d'influence mais peut influer sur le résultat d'étalonnage et la réponse (voir aussi Note 1 à l'article).

© ISO 2020 – Tous droits réservés

3.1.16
réponse
caractéristique de la réponse
R
quotient de l'indication, G, ou de l'indication corrigée, G_{corr}, et de la valeur conventionnelle d'une grandeur à mesurer

Note 1 à l'article: Pour éviter toute confusion, il est nécessaire de spécifier lequel des quotients indiqués dans la définition de la réponse (celui associé à l'indication G ou G_{corr}) a été utilisé. De plus, il est nécessaire, pour éviter toute confusion, d'indiquer la grandeur à mesurer, par exemple la réponse en ce qui concerne la fluence, R_{Φ}, la réponse en ce qui concerne le kerma, R_K, ou la réponse en ce qui concerne la dose absorbée, R_D.

Note 2 à l'article: La réciproque de la réponse dans les conditions spécifiées est égale au coefficient d'étalonnage, N_{coeff}.

Note 3 à l'article: La valeur de la réponse peut varier selon l'expression quantitative de la grandeur à mesurer. Dans de tels cas, la réponse de l'ensemble de détecteur est dite non constante.

Note 4 à l'article: La réponse varie habituellement avec la distribution en énergie et la distribution directionnelle du rayonnement incident. Par conséquent, il est utile de considérer la réponse sous forme d'une fonction, $R(E,\Omega)$, de l'énergie de rayonnement E, et de la direction, $\vec{\Omega}$, du rayonnement monodirectionnel incident. $R(E)$ décrit la « dépendance énergétique » et $R(\Omega)$ décrit la « dépendance angulaire » de la réponse. Pour cette dernière, $\vec{\Omega}$ peut être exprimée par l'angle, α, entre la direction de référence de l'ensemble de détecteur et la direction d'un champ monodirectionnel externe.

3.2 Termes apparentés aux grandeurs et aux unités

La plupart des définitions de ce paragraphe ont été adaptées de l'ISO 80000-10:2019[12] et des Rapports ICRU 36[13] et 51[14].

3.2.1
fluence de particules
fluence
Φ
en un point donné de l'espace, quotient du nombre, dN, de particules incidentes sur un petit domaine sphérique, par l'aire de la section, da, de ce domaine

$$\Phi = \frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}a}$$

Note 1 à l'article: L'unité de base de la fluence de particules est le m−2 ; le cm−2 constitue une unité d'usage courant.

Note 2 à l'article: La distribution en énergie de la fluence de particules, Φ_E, est le quotient, dΦ par dE, où dΦ est la fluence des particules dont l'énergie est comprise entre E et E+dE. Il existe une définition analogue pour la distribution directionnelle, Φ_Ω, de la fluence de particules. La représentation complète de la fluence de particules différentielle double peut s'écrire (avec les arguments) $\Phi_{E,\Omega}$ (E,Ω), où les indices caractérisent les variables (grandeurs) de différenciation et où les symboles entre parenthèses décrivent les valeurs des variables. Les valeurs entre parenthèses sont requises pour des valeurs de fonction spéciales, par exemple la distribution en énergie de la fluence de particules à l'énergie $E = E_0$ s'écrit sous la forme $\Phi_E(E_0)$. En l'absence d'indication de toute valeur spéciale, les parenthèses ne sont pas nécessaires.

3.2.2
débit de fluence de particules
débit de fluence
$\dot{\Phi}$
taux de *fluence de particules* (3.2.1) exprimé par:

$$\dot{\Phi} = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2 N}{\mathrm{d}a \cdot \mathrm{d}t}$$

© ISO 2020 – Tous droits réservés

où dΦ est l'incrément de la fluence de particules au cours d'un intervalle de temps infinitésimal avec la durée dt

Note 1 à l'article: L'unité de base du débit de fluence est le $m^{-2}\ s^{-1}$; le $cm^{-2}\ s^{-1}$ constitue une unité d'usage courant.

3.2.3
kerma
K
pour des particules indirectement ionisantes (non chargées), la somme des énergies cinétiques initiales, dE_{tr}, de toutes les particules ionisantes chargées libérées par les particules ionisantes non chargées dans un élément de matière, divisée par la masse, dm, de cet élément :

$$K = \frac{\mathrm{d}E_{\mathrm{tr}}}{\mathrm{d}m}$$

Note 1 à l'article: La grandeur dE_{tr} comprend l'énergie cinétique des particules chargées émises au cours de la décroissance des atomes, molécules ou noyaux excités.

Note 2 à l'article: L'unité du kerma est le joule par kilogramme ($J \cdot kg^{-1}$) et son équivalent est le gray (Gy).

3.2.4
équivalent de dose
H
au point considéré dans le tissu,

$$H = DQ$$

où D est la dose absorbée et Q est le facteur de qualité en ce point

Note 1 à l'article: Q est déterminé par le transfert linéique d'énergie non limité, L_∞ (souvent désigné L ou LET), des particules chargées passant par un petit élément de volume (domaine) en ce point (la valeur de L_∞ est donnée pour des particules chargées dans l'eau et non dans le tissu ; la différence est cependant faible). L'équivalent de dose en un point dans le tissu est alors donné par :

$$H = \int_{L=0}^{\infty} Q(L) D_{\mathrm{L}}\, \mathrm{d}L$$

où D_L (= dD/dL) est la distribution en fonction de L de la dose absorbée au point considéré.

Note 2 à l'article: La relation entre Q et L est donnée dans la Publication 103 de l'ICRP[2].

Note 3 à l'article: L'unité de l'équivalent de dose est le $J \cdot kg^{-1}$ et son équivalent est le sievert (Sv).

3.2.5
équivalent de dose ambiant
$H^*(10)$
équivalent de dose en un point d'un champ de rayonnement qui serait produit par le champ correspondant expansé et aligné, dans la sphère ICRU à une profondeur de 10 mm sur le rayon faisant face à la direction du champ unidirectionnel

Note 1 à l'article: L'unité de l'équivalent de dose ambiant est le $J \cdot kg^{-1}$ et son équivalent est le sievert (Sv).

3.2.6
coefficient de conversion fluence de particules-équivalent de dose ambiant
h_Φ^*
quotient de l'*équivalent de dose ambiant* (3.2.5), $H^*(10)$, et de la *fluence de particules* (3.2.1), Φ :

$$h_\Phi^* = \frac{H^*(10)}{\Phi}$$

© ISO 2020 – Tous droits réservés

Note 1 à l'article: L'unité de base du coefficient de conversion fluence de particules-équivalent de dose ambiant est le $J \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$, et son équivalent est le $Sv \cdot m^2$; le $pSv \cdot cm^2$ constitue une unité d'usage courant.

3.2.7
coupure verticale
coupure de rigidité géomagnétique verticale
coupure
rigidité magnétique minimale qu'une particule à incidence verticale peut avoir tout en atteignant un emplacement donné au-dessus de la surface de la Terre

3.3 Champ de rayonnement atmosphérique

3.3.1
rayonnement cosmique
rayons cosmiques
particules cosmiques
rayonnement ionisant composé de particules de haute énergie, des atomes totalement ionisés du rayonnement cosmique primaire, d'origine extraterrestre et de particules engendrées par interaction avec l'atmosphère et toute autre matière

3.3.2
rayonnement cosmique secondaire
rayons cosmiques secondaires
particules d'origine cosmique
particules créées, directement ou par des réactions en cascade, par les *rayons cosmiques* (3.3.1) primaires interagissant avec l'atmosphère ou toute autre matière

Note 1 à l'article: Les neutrons, protons, photons, électrons, positrons, muons et, dans une moindre mesure, les pions et les ions plus lourds que les protons constituent des particules importantes, eu égard à la radioprotection et aux mesurages des rayonnements à bord d'un avion.

3.3.3
rayonnement cosmique galactique
rayons cosmiques galactiques
GCR
rayons cosmiques (3.3.1) provenant de l'extérieur du système solaire

3.3.4
particules solaires
rayons cosmiques (3.3.1) provenant du Soleil

3.3.5
événement de particules solaires
SPE
débit de fluence important de particules solaires énergétiques, projetées dans l'espace par une éruption solaire

3.3.6
augmentation au niveau du sol
GLE
augmentation soudaine du rayonnement cosmique, observée au niveau du sol par au moins deux moniteurs à neutrons enregistrant simultanément une augmentation supérieure à 1 % du taux de comptage moyenné sur 5 min associée aux particules solaires énergétiques

Note 1 à l'article: Une GLE est associée à un événement de particules solaires ayant un débit de fluence de particules élevé ainsi qu'une énergie élevée (supérieure à 500 MeV).

Note 2 à l'article: Les GLE sont des événements relativement rares, se produisant en moyenne environ une fois par an. Les GLE sont numérotées, le premier numéro étant affecté à la GLE qui s'est produite en février 1942.

© ISO 2020 – Tous droits réservés

3.3.7
modulation solaire
variation du champ de rayonnement cosmique galactique (à l'extérieur de la magnétosphère terrestre), due à un changement de l'activité solaire et à la modification associée du champ magnétique de l'héliosphère

3.3.8
indice de taches solaires relatif
nombre de Wolf
mesurage d'activité des taches solaires, calculée à partir de l'expression $k(10g + f)$, où f est le nombre de taches individuelles, g est le nombre de groupes de taches et k est un facteur qui varie en fonction de l'expérience personnelle de reconnaissance de l'observateur et de l'observatoire (emplacement et instruments)

Note 1 à l'article: L'indice de taches solaires relatif est également appelé nombre de Wolf.

3.3.9
période d'activité maximale du cycle solaire
période d'activité solaire maximale au cours d'un cycle solaire, généralement définie en termes d'*indice de taches solaires relatif* (3.3.8)

3.3.10
période d'activité minimale du cycle solaire
période d'activité solaire minimale au cours d'un cycle solaire, généralement définie en termes d'*indice de taches solaires relatif* (3.3.8)

4 Considérations générales

4.1 Champ de rayonnement cosmique dans l'atmosphère

Le rayonnement cosmique galactique primaire (et les particules solaires énergétiques) interagissent avec les noyaux atomiques des constituants atmosphériques, produisant une cascade d'interactions et générant des particules secondaires qui contribuent à l'exposition au rayonnement cosmique dont l'intensité diminue en fonction de l'épaisseur d'atmosphère traversée, depuis les hautes couches de l'atmosphère, puis aux altitudes de vol des avions jusqu'au niveau de la mer[15][16]. Le rayonnement cosmique galactique (GCR) peut avoir des énergies jusqu'à 10^{20} eV, mais les particules de plus faible énergie sont les plus abondantes. Une fois que le GCR pénètre dans le champ magnétique du système solaire, la valeur maximale de sa distribution en énergie s'établit de quelques centaines de MeV jusqu'à 1 GeV par nucléon, selon l'activité magnétique solaire, et le spectre suit une fonction de puissance de la forme $E^{-2,7}$ eV jusqu'à 10^{15} eV. Au-delà de cette énergie, la courbe du spectre s'établit en E^{-3}. Le débit de fluence du GCR pénétrant dans le système solaire est relativement constant dans le temps, et ces ions énergétiques arrivent à la surface de la Terre de façon globalement isotropique.

Les champs magnétiques terrestre et solaire affectent également le nombre relatif de protons du GCR, ainsi que celui des ions plus lourds qui atteignent l'atmosphère. La composition en ions du GCR en termes de fluence pour une coupure géomagnétique peu élevée et une activité solaire faible est approximativement de 90 % de protons, 9 % d'ions He et 1 % d'ions plus lourds. À une coupure verticale de 15 GV, la composition est d'environ 83 % de protons, 15 % d'ions He et près de 2 % d'ions plus lourds[17][18].

Les composantes variables de l'équivalent de dose ambiant, dues aux divers constituants du rayonnement cosmique secondaire dans l'atmosphère en fonction de l'altitude, sont illustrées sur la Figure 1. Au niveau de la mer, les muons constituent la composante dont la contribution à l'équivalent de dose ambiant et à la dose efficace est la plus importante. Aux altitudes de vol des avions, les neutrons, électrons, positrons, protons, photons et muons constituent les éléments les plus significatifs. À des altitudes plus élevées, les ions, plus lourds que les protons, sont à prendre en compte. Les figures illustrant les distributions en énergie normalisées représentatives des débits de fluence de l'ensemble

© ISO 2020 – Tous droits réservés