NORME INTERNATIONALE

ISO 20785-1

Troisième édition
2020-07

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

Partie 1: Fondement théorique des mesurages

Dosimetry for exposures to cosmic radiation in civilian aircraft — Part 1: Conceptual basis for measurements

Numéro de référence
ISO 20785-1:2020(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 Grandeurs et unités 2
3.3 Champ de rayonnement atmosphérique 5

4 Considérations générales **6**
4.1 Champ de rayonnement cosmique dans l'atmosphère 6
4.2 Considérations générales d'étalonnage pour la dosimétrie du rayonnement cosmique à bord d'un avion 8
4.2.1 Approche 8
4.2.2 Facteurs à considérer pour le mesurage 8
4.2.3 Facteurs à considérer pour le champ de rayonnement 9
4.2.4 Aspects à considérer pour l'étalonnage 10
4.2.5 Champs de rayonnement simulés à bord d'un avion 10
4.3 Coefficients de conversion 11

5 Dispositifs dosimétriques **11**
5.1 Introduction 11
5.2 Dispositifs actifs 11
5.2.1 Dispositifs permettant de déterminer l'ensemble des composantes de champ 11
5.2.2 Dispositifs applicables à la composante à faible TLE/non neutronique 13
5.2.3 Dispositifs applicables à la composante à fort TLE/neutronique 14
5.3 Dispositifs passifs 15
5.3.1 Considérations générales 15
5.3.2 Détecteurs à traces 16
5.3.3 Détecteurs à fission à feuille 16
5.3.4 Détecteurs de neutrons à émulsion métastable (détecteurs à bulles) 16
5.3.5 Détecteurs thermoluminescents 17
5.3.6 Détecteurs photoluminescents 17

Annexe A (informative) **Distributions en énergie représentatives des débits de fluence de particules pour le champ de 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 verticale minimale et maximale** **18**

Bibliographie **24**

© 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 troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 207851:2012), qui a fait l'objet d'une révision technique. Les principales modifications 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 les modes opératoires de sécurité de l'aviation, des autorités communes de l'aviation (Joint Aviation Authorities) et 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 directive de la Commission européenne et la CIPR dans les Publications 75[5] et 132[6].

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. 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 à partir de mesurages. Il convient que la traçabilité soit assurée pour un nombre raisonnable de types de particules et d'énergies du champ de rayonnement atmosphérique, que des corrections soient effectuées pour tenir compte des différences entre les champs d'étalonnage et le champ de rayonnement atmosphérique total, et que les incertitudes associées soient correctement prises en compte. 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

© ISO 2020 – Tous droits réservés

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 sol.

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. Il est difficile de déterminer l'équivalent de dose ambiant pour un champ de rayonnement si complexe. 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 décrit les bases conceptuelles permettant de caractériser la réponse des instruments pour la détermination de l'équivalent de dose ambiant à bord d'un avion.

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 primaires et secondaires 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 1:
Fondement théorique des mesurages

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les principes de base permettant de déterminer l'équivalent de dose ambiant pour l'évaluation de l'exposition au rayonnement cosmique à bord d'un avion civil, ainsi que pour l'étalonnage des instruments utilisés à cette fin.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

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
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.

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

Note 3 à l'article: Souvent, la première étape seule dans la définition ci-dessus est perçue comme étant l'étalonnage.

© ISO 2020 – Tous droits réservés

3.1.2
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 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, Ω du rayonnement monodirectionnel incident. $R(E)$ décrit la «dépendance énergétique» et $R(\Omega)$ décrit la «dépendance angulaire» de la réponse. Pour cette dernière, Ω 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 Grandeurs et unités

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:

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

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.

© ISO 2020 – Tous droits réservés

3.2.3
dose absorbée
D
pour tout rayonnement ionisant,

$$D = \frac{\mathrm{d}\bar{\varepsilon}}{\mathrm{d}m}$$

où $\mathrm{d}\bar{\varepsilon}$ est l'énergie moyenne transmise par le rayonnement ionisant à un élément de matière irradiée de masse dm

Note 1 à l'article: Dans la limite d'un petit domaine, l'énergie spécifique moyenne est égale à la dose absorbée.

Note 2 à l'article: L'unité de la dose absorbée est le joule par kilogramme (J kg^{-1}) et son équivalent est le gray (Gy).

3.2.4
kerma
K
pour des particules indirectement ionisantes (non chargées), la somme moyenne des énergies cinétiques initiales, $\mathrm{d}E_{\mathrm{tr}}$, 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 $\mathrm{d}E_{\mathrm{tr}}$ 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 kg^{-1}) et son équivalent est le gray (Gy).

3.2.5
équivalent de dose
H
au point considéré dans le tissu,

$$H = DQ$$

où

D est la dose absorbée;

Q est le facteur de qualité en ce point; et

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

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 la formule ci-dessus où $D_{\mathrm{L}} = \mathrm{d}D/\mathrm{d}L$ 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 (ICRP, 2007)[2].

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

© ISO 2020 – Tous droits réservés

3.2.6
énergie linéale
y
quotient de l'énergie, ε_s, transmise à la matière dans un volume donné par un seul événement de transmission d'énergie, par la longueur de corde moyenne, $\bar{l}$, dans ce volume:

$$y = \frac{\varepsilon_s}{\bar{l}}$$

Note 1 à l'article: L'unité de base de l'énergie linéale est le joule par mètre (J m^{-1}); le kiloélectron-volt par micromètre (keV μm^{-1}) constitue une unité d'usage courant.

3.2.7
énergie linéale moyenne en dose
$\bar{y}_D$
espérance

$$\bar{y}_D = \int_0^\infty y\, d(y)\, dy$$

où $d(y)$ est la densité de probabilité en dose de y

Note 1 à l'article: La densité de probabilité en dose de y est donnée par $d(y)$, où $d(y)dz$ est la fraction de dose absorbée délivrée lors d'événements uniques avec une énergie linéale dans l'intervalle de y à $y+dy$.

Note 2 à l'article: L'énergie linéale moyenne en dose et la distribution $d(y)$ sont indépendantes de la dose absorbée ou du débit de dose.

3.2.8
équivalent de dose ambiant
$H^*(10)$
équivalent de dose (3.2.5) 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 joule par kilogramme (J kg^{-1}), et son équivalent est le sievert (Sv).

3.2.9
altitude barométrique étalon
pression d'altitude
altitude déterminée par un altimètre barométrique étalonné (3.1.1) par référence à l'atmosphère type internationale (ISA) (ISO 2533[7], *Atmosphère type*) lorsque les données de l'altimètre sont établies à 1 013,25 hPa

Note 1 à l'article: L'Article 9 de la Partie 2 des Directives ISO/IEC impose d'utiliser les unités SI dans les documents ISO et de se conformer à l'ISO 80000[8]. Il convient donc que l'unité par défaut soit le mètre. Cependant, dans le domaine de l'aviation, le niveau de vol est souvent donné sous la forme FLxxx, où xxx est un nombre à trois chiffres qui représente les multiples de 100 fts d'altitude-pression, sur la base de l'atmosphère ISA et d'un paramétrage de données à 1 013,25 hPa; par exemple, FL350 correspond à 35 000 ft ou, en utilisant 1 pied = 0,304 8 m, 10 668 m.

3.2.10
coupure de rigidité géomagnétique verticale
coupure verticale
coupure
rc
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

© ISO 2020 – Tous droits réservés

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
rayons cosmiques primaires
rayons cosmiques (3.3.1) provenant de l'espace au niveau de l'orbite terrestre

3.3.3
rayonnement cosmique secondaire
rayons cosmiques secondaires
particules d'origine cosmique
particules créées, directement ou par des réactions en cascade, par les *rayons cosmiques primaires* (3.3.2) 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.

3.3.4
rayonnement cosmique galactique
rayons cosmiques galactiques
GCR
rayons cosmiques (3.3.1) provenant de l'extérieur du système solaire

3.3.5
particules solaires
rayonnement cosmique solaire
rayons cosmiques solaires
rayons cosmiques (3.3.1) provenant du Soleil

3.3.6
événement de particules solaires
SPE
débit de fluence important de particules solaires énergétiques, projetées dans l'espace par une éruption solaire

Note 1 à l'article: Les événements de particules solaires sont directionnels.

3.3.7
augmentation au niveau du sol
GLE
augmentation soudaine du *rayonnement cosmique* (3.3.1), observée au niveau du sol par au moins deux moniteurs à neutrons enregistrant simultanément une augmentation supérieure à 3 % 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

3.3.8
cycle solaire
période durant laquelle l'activité solaire varie, avec des écarts maximaux successifs d'un intervalle moyen de 11 ans environ

Note 1 à l'article: Si l'inversion de la polarité du champ magnétique solaire dans un hémisphère donné selon des périodes successives de 11 ans est prise en compte, il peut être considéré que le cycle solaire complet s'effectue en moyenne en quelque 22 années, soit le cycle de Hale.

Note 2 à l'article: Le cycle de l'activité solaire, tel que mesuré par l'indice de taches solaires relatif, appelé «nombre de Wolf», dure à peu près 11 ans, mais ce nombre varie entre 7 ans et 17 ans environ. Un cycle approximatif de 11 ans a été observé ou proposé pour le géomagnétisme, la fréquence des aurores boréales et d'autres caractéristiques ionosphériques. L'indice *u* de la variation de l'intensité géomagnétique révèle l'une des corrélations connues les plus fortes avec l'activité solaire.

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

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

3.3.11
moniteur à neutrons de rayonnement cosmique
détecteur de grande taille utilisé pour mesurer le débit de fluence relatif en fonction du temps de la composante haute énergie du *rayonnement cosmique* (3.3.1), notamment les neutrons secondaires générés dans l'atmosphère (les protons, autres hadrons et muons peuvent également être détectés)

Note 1 à l'article: Installés en de multiples emplacements et altitudes à la surface de la Terre (et éventuellement à bord de navires ou d'avions), des moniteurs à neutrons sont utilisés pour les diverses études menées sur le rayonnement cosmique et pour déterminer les fluctuations de l'activité solaire.

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[9][10]. 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 à E^{-3} eV. 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 % de noyaux 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[11][12].

© ISO 2020 – Tous droits réservés