

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61582

Première édition
First edition
2004-01

**Instrumentation pour la radioprotection –
Systèmes de mesure in vivo –
Classification, exigences générales et
procédures d'essai pour les appareils
portables, mobiles ou à poste fixe**

**Radiation protection instrumentation –
In vivo counters –
Classification, general requirements and
test procedures for portable, transportable
and installed equipment**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61582:2004

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** (www.iec.ch)
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site** (www.iec.ch)
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61582

Première édition
First edition
2004-01

**Instrumentation pour la radioprotection –
Systèmes de mesure in vivo –
Classification, exigences générales et
procédures d'essai pour les appareils
portables, mobiles ou à poste fixe**

**Radiation protection instrumentation –
In vivo counters –
Classification, general requirements and
test procedures for portable, transportable
and installed equipment**

© IEC 2004 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XB**

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	10
1 Domaine d'application et objet.....	14
2 Références normatives.....	16
2.1 Normes internationales.....	16
2.2 Autres références internationales.....	18
3 Termes et définitions.....	18
4 Classification.....	24
4.1 Classification générale.....	24
4.2 Classification en fonction des gammes d'énergie.....	26
4.2.1 Equipements de contrôle in vivo basse énergie (gamme de 10 keV à 200 keV).....	26
4.2.2 Equipements de contrôle in vivo haute énergie (gamme de 100 keV à 3 MeV).....	26
4.3 Classification en fonction de la spécificité de la mesure.....	26
4.3.1 Type 1 – Spécifique d'un ou plusieurs nucléides et d'un organe ou d'une partie spécifique du corps, avec bruit de fond très faible.....	26
4.3.2 Type 2 – Spécifique d'un ou plusieurs nucléides et d'un organe ou d'une partie spécifique du corps, avec bruit de fond faible.....	26
4.3.3 Type 3 – Spécifique d'un ou de plusieurs nucléides.....	26
4.3.4 Type 4 – Non-spécifique d'un nucléide ni d'un organe ou d'une partie du corps.....	28
5 Généralités.....	28
5.1 Description générale du système.....	28
5.1.1 Généralités.....	28
5.1.2 L'équipement de détection.....	28
5.1.3 L'équipement de mesure.....	28
5.1.4 L'équipement auxiliaire.....	30
5.1.5 Facilité d'utilisation.....	30
5.1.6 Facilité de décontamination.....	30
5.1.7 Taille du sujet.....	30
5.2 Méthode de mesure.....	30
5.3 Gamme d'énergie.....	30
5.4 Bruit de fond.....	32
5.5 Domaine de mesure.....	32
5.6 Activité minimale détectable.....	32
6 Caractéristiques des équipements de mesure des émetteurs de basse énergie.....	34
6.1 Gamme d'énergie (10 keV à 200 keV).....	34
6.2 Activité minimale détectable.....	34
6.3 Domaine de mesure de l'activité.....	34
6.4 Résolution en énergie.....	34
6.5 Non-linéarité intégrale.....	34
6.6 Niveau du bruit de fond naturel.....	36
6.7 Réponse au rayonnement de référence.....	36

CONTENTS

FOREWORD.....	11
1 Scope and object.....	15
2 Normative references	17
2.1 International standards	17
2.2 Other International references	19
3 Terms and definitions	19
4 Classification.....	25
4.1 General classification	25
4.2 Energy range classification.....	27
4.2.1 Low energy in vivo monitoring (range from 10 keV to 200 keV).....	27
4.2.2 High energy in vivo monitoring (range from 100 keV to 3 MeV).....	27
4.3 Specificity of the measurement.....	27
4.3.1 Type 1 – Nuclide specific, spatially specific with very low background	27
4.3.2 Type 2 – Nuclide specific, spatially specific with low background.....	27
4.3.3 Type 3 – Nuclide specific.....	27
4.3.4 Type 4 – Non-nuclide and non-spatial specific.....	29
5 General	29
5.1 General description of the instrument	29
5.1.1 General	29
5.1.2 Detection assembly	29
5.1.3 Measurement assembly	29
5.1.4 Auxiliary equipment	31
5.1.5 Ease of operation	31
5.1.6 Ease of decontamination	31
5.1.7 Size of subject.....	31
5.2 Measurement method.....	31
5.3 Energy range.....	31
5.4 Background.....	33
5.5 Measurement range	33
5.6 Minimum detectable activity.....	33
6 Characteristics of equipment for low-energy emitter measurement	35
6.1 Energy range (10 keV to 200 keV).....	35
6.2 Minimum detectable activity.....	35
6.3 Ranges of measurement of activity.....	35
6.4 Energy resolution	35
6.5 Integral non-linearity	35
6.6 Natural background level.....	37
6.7 Reference radiation response.....	37

7	Caractéristiques des équipements de mesure des émetteurs de haute énergie de 100 keV à 3 MeV	36
7.1	Activité minimale détectable	36
7.2	Echelles de mesure	38
7.3	Résolution en énergie	38
7.4	Non-linéarité intégrale	38
7.5	Niveau du bruit de fond naturel.....	40
7.6	Réponse au rayonnement de référence	40
7.7	Activité maximale mesurable	40
7.8	Temps de préchauffage.....	40
7.9	Temps de mesure.....	40
8	Exigences de performances et procédures d'essai pour la mesure des émetteurs de basse énergie.....	42
8.1	Procédures générales d'essai.....	42
8.1.1	Nature des essais.....	42
8.1.2	Essais effectués dans des conditions normales d'essai	42
8.1.3	Essais effectués avec une variation des grandeurs d'influence	42
8.2	Fluctuations Statistiques	42
8.3	Fantômes de référence et sources	44
8.3.1	Généralités.....	44
8.3.2	Fantômes primaires	44
8.3.3	Les fantômes secondaires (sources radioactives).....	44
8.3.4	Fantômes «bruit de fond»	44
8.4	Caractéristiques de mesure du rayonnement.....	44
8.4.1	Erreur relative intrinsèque.....	44
8.4.2	Linéarité (en relation avec l'activité)	46
8.4.3	Détermination de la gamme d'énergie.....	48
8.4.4	Détermination de l'erreur de non-linéarité intégrale (NLI).....	48
8.4.5	Détermination du rendement pour la raie gamma 59,54 keV de l'Américium-241.....	50
8.4.6	Bruit de fond.....	52
8.4.7	Détermination de l'activité minimale détectable	52
8.4.8	Détermination du taux de comptage maximale.....	52
8.4.9	Détermination de la stabilité	54
8.4.10	Mesure de la résolution en énergie.....	56
8.5	Caractéristiques des performances environnementales	58
8.5.1	Généralités.....	58
8.5.2	Compatibilité électromagnétique.....	58
8.5.3	Température ambiante.....	62
8.5.4	Humidité relative	64
8.5.5	Champs magnétiques	64
8.5.6	Pression atmosphérique	66
9	Exigences de performance et procédures d'essai pour la mesure des émetteurs de haute énergie	66
9.1	Procédures générales d'essai.....	66
9.1.1	Nature des essais.....	66
9.1.2	Essais effectués dans les conditions normales d'essai	66
9.1.3	Essais effectués avec variation des grandeurs d'influence.....	66

7	Characteristics of equipment for high-energy emitter measurements 100 keV to 3 MeV.....	37
7.1	Minimum detection activity	37
7.2	Ranges of measurement.....	39
7.3	Energy resolution	39
7.4	Integral non-linearity	39
7.5	Natural background level.....	41
7.6	Reference radiation response.....	41
7.7	Maximum measurable activity.....	41
7.8	Warm-up time.....	41
7.9	Measurement time.....	41
8	Performance requirements and test procedures for low-energy emitter measurements.....	43
8.1	General test procedures	43
8.1.1	Nature of tests	43
8.1.2	Tests performed under standard test conditions	43
8.1.3	Tests performed with variation of influence quantities	43
8.2	Statistical fluctuations	43
8.3	Reference phantom and sources	45
8.3.1	General	45
8.3.2	Primary phantoms	45
8.3.3	Secondary phantoms (radioactive sources)	45
8.3.4	Background phantoms	45
8.4	Radiation characteristics	45
8.4.1	Relative intrinsic error	45
8.4.2	Linearity (in relation to activity).....	47
8.4.3	Energy range determination.....	49
8.4.4	Determination of the integral non-linearity (INL) error	49
8.4.5	Determination of the efficiency to Americium-241 59,54 keV gamma	51
8.4.6	Background	53
8.4.7	Determination of minimum detectable activity	53
8.4.8	Determination of the maximum count rate	53
8.4.9	Determination of stability	55
8.4.10	Energy resolution measurement	57
8.5	Environmental performance characteristics	59
8.5.1	General	59
8.5.2	Electromagnetic compatibility	59
8.5.3	Ambient temperature	63
8.5.4	Relative humidity	65
8.5.5	Magnetic fields	65
8.5.6	Atmospheric pressure	67
9	Performance requirements and test procedures for high-energy emitter measurements.....	67
9.1	General test procedures	67
9.1.1	Nature of tests	67
9.1.2	Tests performed under standard test conditions	67
9.1.3	Tests performed with variation of influence quantities	67

9.2	Fluctuations statistiques	68
9.3	Fantômes de référence et sources	68
9.3.1	Généralités	68
9.3.2	Fantômes primaires	68
9.3.3	Fantômes secondaires (sources radioactives)	68
9.3.4	Fantômes «bruit de fond»	68
9.4	Caractéristiques sous rayonnement	70
9.4.1	Erreur relative intrinsèque	70
9.4.2	Linéarité	70
9.4.3	Réponse à d'autres radionucléides	72
9.4.4	Détermination de la gamme d'énergie	72
9.4.5	Détermination de l'erreur de non-linéarité intégrale (NLI)	74
9.4.6	Détermination de l'efficacité pour l'émission gamma à 661,7 keV du Césium-137	74
9.4.7	Détermination de l'efficacité pour l'Iode-131	78
9.4.8	Détermination de l'efficacité pour le Cobalt-60	78
9.4.9	Bruit de fond	78
9.4.10	Détermination d'une limite de détection minimale	80
9.4.11	Détermination du taux de comptage maximal	80
9.4.12	Détermination de la stabilité	82
9.4.13	Mesure de la résolution en énergie	84
9.5	Caractéristiques des performances environnementales	86
9.5.1	Généralités	86
9.5.2	Compatibilité électromagnétique	86
9.5.3	Température ambiante	90
9.5.4	Humidité relative	92
9.5.5	Champs magnétiques	94
9.5.6	Pression atmosphérique	94
10	Documentation	94
10.1	Rapport d'essai de type	94
10.2	Certificat	94
10.3	Fonctionnement et manuel de maintenance	96
Annexe A (informative) Guide pour définir le nombre de lectures indépendantes d'un instrument, nécessaires pour affirmer une réelle différence de l'indication (pour une distribution normale)		108
Annexe B (normative) Exigences complémentaires et méthode d'essai pour les appareils portables ou mobiles		112
Bibliographie		122
Tableau 1 – Référence et conditions normales d'essai		96
Tableau 2 – Mesure in vivo de basse énergie avec détecteurs à scintillation		98
Tableau 3 – Mesure in vivo de basse énergie avec détecteurs à semi-conducteurs au Germanium		100
Tableau 4 – Mesure in vivo de haute énergie avec détecteurs à scintillation		102
Tableau 5 – Mesure in vivo haute énergie avec détecteurs à semi-conducteurs au Germanium		104
Tableau 6 – Mesure in vivo de haute énergie sans spectroscopie		106

9.2	Statistical fluctuations	69
9.3	Reference phantom and sources	69
9.3.1	General	69
9.3.2	Primary phantoms	69
9.3.3	Secondary phantoms (radioactive sources)	69
9.3.4	Background phantoms	69
9.4	Radiation characteristics	71
9.4.1	Relative intrinsic error	71
9.4.2	Linearity	71
9.4.3	Response to other radio nuclides	73
9.4.4	Energy range determination	73
9.4.5	Determination of the integral non-linearity (INL) error	75
9.4.6	Determination of the efficiency to Caesium-137 661,7 keV gamma	75
9.4.7	Determination of the efficiency to Iodine-131	79
9.4.8	Cobalt-60 efficiency determination	79
9.4.9	Background	79
9.4.10	Determination of minimum detection limit	81
9.4.11	Determination of the maximum count rate	81
9.4.12	Determination of stability	83
9.4.13	Energy resolution measurement	85
9.5	Environmental performance characteristics	87
9.5.1	General	87
9.5.2	Electromagnetic compatibility	87
9.5.3	Ambient temperature	91
9.5.4	Relative humidity	93
9.5.5	Magnetic fields	95
9.5.6	Atmospheric pressure	95
10	Documentation	95
10.1	Type test report	95
10.2	Certificate	95
10.3	Operation and maintenance manual	97
Annex A (informative) A guide to the number of independent instrument readings required to establish a true difference in indication (relevant for normal distribution).....		109
Annex B (normative) Additional requirements and test procedures for transportable and portable assemblies		113
Bibliography.....		123
Table 1 – Reference and standard test conditions.....		97
Table 2 – Low-energy in vivo counting with scintillation detectors		99
Table 3 – Low-energy in vivo counting with Ge semi-conductor detectors		101
Table 4 – High-energy in vivo counting with scintillation detectors		103
Table 5 – High-energy in vivo counting with Ge semi-conductor detectors		105
Table 6 – High-energy in vivo counting without spectroscopy.....		107

Tableau A.1 — Nombre de lectures requises pour mettre en évidence une réelle différence (95% du niveau de confiance) entre deux séries de lectures effectuées avec le même appareil	110
Tableau B.1 — Paramètres relatifs aux vibrations sinusoïdales	118
Tableau B.2 — Paramètres relatifs aux chocs semi-sinusoïdaux	120

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61582:2004

Table A.1 — Number of instrument readings required to detect true differences (95% confidence level) between two sets of instrument readings on the same instrument.....	111
Table B.1 – Sinusoidal vibration parameters	119
Table B.2 – Half-sine shock parameters.....	121

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61582:2004

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – SYSTÈMES DE MESURE IN VIVO – CLASSIFICATION, EXIGENCES GÉNÉRALES ET PROCÉDURES D'ESSAI POUR LES APPAREILS PORTABLES, MOBILES OU À POSTE FIXE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61582 a été établie par le sous-comité 45B: Instrumentation pour la radioprotection, du comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45B/430/FDIS	45B/438/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION –
IN VIVO COUNTERS –
CLASSIFICATION, GENERAL REQUIREMENTS AND TEST PROCEDURES
FOR PORTABLE, TRANSPORTABLE AND INSTALLED EQUIPMENT**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61582 has been prepared by subcommittee 45B: Radiation protection instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
45B/430/FDIS	45B/438/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2008.
A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61582:2004

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2008. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61582:2004

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – SYSTÈMES DE MESURE IN VIVO – CLASSIFICATION, EXIGENCES GÉNÉRALES ET PROCÉDURES D'ESSAI POUR LES APPAREILS PORTABLES, MOBILES OU À POSTE FIXE

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale spécifie la classification, les exigences générales de conception, les caractéristiques de performance et les procédures d'essai des systèmes de mesure in vivo utilisés pour détecter les traces de radionucléides dans le corps des personnes travaillant dans des centrales nucléaires, des laboratoires et des installations où l'on manipule des radionucléides, ou des personnes vivant dans des zones susceptibles d'être contaminées, soit par des radionucléides naturels, soit par des radionucléides artificiels. Il s'agit de déterminer la dose équivalente aux organes et la dose efficace du rayonnement interne pour l'ensemble du corps.

Cette norme s'applique aux équipements de spectrométrie et aux équipements permettant uniquement le dépistage rapide de la contamination interne globale.

Cette norme s'applique aux instruments destinés au contrôle de certains organes critiques (par exemple, poumons, thyroïde, etc.) mais également aux instruments destinés au contrôle du corps entier.

La norme s'applique aux équipements destinés à la mesure de l'activité des radionucléides émetteurs gamma dans le corps humain afin de déterminer la dose équivalente engagée induite par la contamination interne, conformément aux recommandations de la CIPR 60 et de la CIPR 61.

Les exigences de cette norme s'appliquent aux appareils fixes, aux équipements installés dans des véhicules et aux instruments portables. A noter toutefois que l'Annexe B définit les exigences de performance mécanique et environnementale supplémentaires ainsi que les essais nécessaires à l'utilisation de ces ensembles mobiles et portables. Les exigences générales et radiologiques relatifs à tous les types de systèmes de mesure in vivo sont incluses dans cette norme.

En fonction du type d'instrument utilisé et de l'organe à contrôler, la position de la personne soumise à la procédure de mesure peut être la position couchée ou debout.

L'équipement de détection inclut un ou plusieurs détecteurs de rayonnement. En règle générale, il s'agit de détecteurs blindés à scintillation ou à semi-conducteurs. Lorsque l'identification de l'emplacement de la contamination est requise, les détecteurs peuvent être collimatés.

L'équipement de mesure comprend des unités fonctionnelles pour le traitement des signaux provenant de l'équipement de détection ainsi que des unités d'affichage de l'activité mesurée.

Concernant la détermination du poids de la personne, une balance intégrée au système peut être utilisée.

RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – IN VIVO COUNTERS – CLASSIFICATION, GENERAL REQUIREMENTS AND TEST PROCEDURES FOR PORTABLE, TRANSPORTABLE AND INSTALLED EQUIPMENT

1 Scope and object

This International Standard specifies the classification, general design requirements, performance characteristics and test procedures for in vivo counting systems for detecting trace amounts of radionuclides in the bodies of persons working in nuclear power plants, laboratories and facilities handling radionuclides, and inhabitants living on territory which may be contaminated by either naturally occurring or artificial radionuclides. The purpose is to determine the dose equivalent to organs and the effective dose of internal radiation for the whole body.

This standard is applicable both to equipment with spectroscopic capabilities and instruments for rapid screening for gross internal contamination only.

This standard is applicable to instruments for the monitoring of certain critical organs (for example, lungs, thyroid gland, etc.) as well as instruments for monitoring the whole body.

The standard applies to equipment for the measurement of the activity of gamma-emitting radionuclides in humans in order to determine the committed dose equivalent due to internal contamination in accordance with the recommendations of the ICRP 60 and ICRP 61.

The requirements of the standard are applicable to the installed apparatus, to vehicle-mounted equipment and to portable instruments. However, Annex B defines the additional mechanical and environmental performance requirements and the additional testing required for transportable and portable assemblies. The general and radiological requirements of all types of in vivo counters are included in this standard.

Depending on the type of instrument and the organ to be checked, measurement geometry may require the subject of the monitoring procedure to stand, sit, or lie.

The detection assembly includes one or more radiation detector. Normally, these are shielded-scintillation or semi-conductor detectors. Where identification of the location of contamination is required, the detectors may be collimated.

The measurement assembly includes functional units for the processing of signals from the detection assembly as well as units for the display of the measured activity.

For the measurement of body mass a built-in weighing machine may be used.

La présente norme spécifie les principaux types d'équipements, les caractéristiques spécifiques de la mesure, les principales procédures d'essai, les caractéristiques électriques et mécaniques des appareils de contrôle du corps entier ainsi que les exigences liées au bruit de fond radiatif de l'environnement.

Ces équipements n'ont pas pour objet de déterminer la contamination externe des personnes ou la contamination des vêtements.

Cette norme ne s'applique pas à des équipements tels que les détecteurs de rayonnement destinés à être introduits dans le corps humain.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

2.1 Normes internationales

CEI 60050-393, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 393: Instrumentation nucléaire – Phénomènes physiques et notions fondamentales*

CEI 60050-394, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 394: Instrumentation nucléaire – Instruments*

CEI 60068-2-1, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essais A: Froid*

CEI 60068-2-2, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essais B: Chaleur sèche*

CEI 60068-2-6, *Essais d'environnement – Partie 2: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

CEI 60068-2-14, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai N: Variations de température*

CEI 60068-2-27, *Essais d'environnement. Deuxième partie: Essais – Essai Ea et guide: Chocs*

CEI 60068-2-78, *Essais d'environnement – Partie 2-78: Essais – Essai Cab: Chaleur humide, essai continu*

CEI 60721-3-5, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3-5: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Installations des véhicules terrestres*

CEI 60721-3-7, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3-7: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Utilisation en déplacement*

CEI 61000-4-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM)- Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux décharges électrostatiques*

CEI 61000-4-3, *Compatibilité électromagnétique (CEM)- Partie 4-3: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques*

The standard specifies general types, specific measuring characteristics, main test procedures, electrical and mechanical characteristics of the whole body monitor, as well as the requirements related to background radiation of the environment.

This equipment is not intended for the determination of external contamination of the human body or the clothing of personnel.

This standard is not applicable to equipment such as radiation detectors intended for introduction into the human body.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

2.1 International standards

IEC 60050-393, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 393: Nuclear instrumentation – Physical phenomena and basic concepts*

IEC 60050-394, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 394: Nuclear instrumentation – Instruments*

IEC 60068-2-1, *Environmental testing – Part 2: Tests. Tests A: Cold*

IEC 60068-2-2, *Environmental testing – Part 2: Tests. Tests B: Dry heat*

IEC 60068-2-6: *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-14, *Environmental testing – Part 2: Tests. Test N: Change of temperature.*

IEC 60068-2-27: *Environmental testing. Part 2: Tests. Test Ea and guidance: Shock.*

IEC 60068-2-78, *Environmental testing – Part 2-78: Tests – Test Cab: Damp heat, steady state*

IEC 60721-3-5: *Classification of environmental conditions – Part 3-5: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Ground vehicle installation.*

IEC 60721-3-7: *Classification of environmental conditions – Part 3-7: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Portable and non-stationary use.*

IEC 61000-4-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test*

IEC 61000-4-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*

CEI 61000-4-5:1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de choc*

CEI 61000-4-6, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure – Immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques*

CEI 61000-4-12:1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-12: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes oscillatoires*

CEI 61187:1993, *Equipements de mesures électriques et électroniques – Documentation*

CEI 61276:1994, *Instrumentation nucléaire – Principes de sélection de systèmes spectrométriques des rayonnements nucléaires assistés par des mesures*

ISO 11929-1:2000, *Détermination de la limite de détection et du seuil de décision des mesurages des rayonnements ionisants – Partie 1: Principes fondamentaux et application aux mesures par comptage, sans l'influence du traitement de l'échantillon*

ISO 11929-4:2001, *Détermination de la limite de détection et du seuil de décision des mesurages des rayonnements ionisants – Partie 4: Principes fondamentaux et leur application aux mesurages réalisés à l'aide d'ictomètres analogiques à échelle linéaire, sans l'influence du traitement d'échantillon*

2.2 Autres références internationales

CIPR 38:1983, *Transformation des radionucléides – Energie et intensité des émissions. Annales de la CIPR 11-13*

CIPR 60:1990, *Recommandations de la Commission Internationale pour la Protection Radiologique. Annales de la CIPR 21 No. 1-3, 1991*

CIPR 61:1991, *Limites annuelles d'incorporation pour les travailleurs, basées sur les recommandations de 1990. Annales de la CIPR 21 No. 4*

CIPR 68:1994, *Coefficients de dose d'incorporation de radionucléides par les travailleurs. A Remplacement de la Publication 61 de la CIPR. Annales de la CIPR 24 (4)*

CIPR 75, *Principes généraux pour la radioprotection des travailleurs.*

3 Termes et définitions

La terminologie générale liée à la détection et à la mesure des rayonnements ionisants est donnée dans la CEI 60050(393), la CEI 60050(394) et la CEI 61276. Pour les besoins du présent document, les définitions proposées dans les Publications 68 et 75 des recommandations de la CIPR sont applicables ainsi que les définitions suivantes.

3.1

valeur conventionnellement vraie de l'activité

la meilleure estimation que l'on puisse avoir de l'activité

valeur ainsi que son incertitude déterminées à partir de sources de référence primaires ou secondaires, ou au moyen d'un instrument de référence préalablement étalonné par des sources radioactives primaires ou secondaires

IEC 61000-4-5:1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*

IEC 61000-4-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*

IEC 61000-4-12:1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-12: Testing and measurement techniques – Oscillatory waves immunity test*

IEC 61187:1993, *Electrical and electronic measuring equipment – Documentation*

IEC 61276:1994, *Nuclear instrumentation – Guidelines for selection of metrologically supported nuclear radiation spectrometry systems*

ISO 11929-1:2000, *Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements – Part 1: Fundamentals and application to counting measurements without the influence of sample treatment*

ISO 11929-4:2001, *Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements – Part 4: Fundamentals and application to measurements by use of linear-scale analogue ratemeters, without the influence of sample treatment*

2.2 Other International references

ICRP 38:1983, *Radionuclide Transformations: Energy and Intensity of Emissions*. Annals of the ICRP 11-13

ICRP 60:1990, *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Annals of the ICRP 21 No. 1-3, 1991

ICRP 61:1991, *Annual Limits on Intake of Radionuclides by Workers Based on the 1990 – Recommendations*. Annals of the ICRP 21 No. 4.

ICRP 68:1994, *Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers: A Replacement of ICRP 61*. Annals of the ICRP 24 (4).

ICRP 75, *General Principles for the Radiation Protection of Workers*

3 Terms and definitions

General terminology concerning detection and measurement of ionizing radiation is given in IEC 60050(393), IEC 60050(394), and in IEC 61276. For the purposes of this document, the definitions from the recommendations of ICRP 68 and ICRP 75 are applicable, as well as the following definitions.

3.1

conventionally true value of activity

best estimate of activity

value and its uncertainty determined from a primary or secondary standard or by means of a reference instrument which has been calibrated against primary or secondary radioactive sources

3.2

activité indiquée (mesurée)

activité indiquée par le système de mesure en cours d'essai

3.3

coefficient de variation

rapport V de l'écart-type s à la moyenne arithmétique d'une série de n mesures x_i donné par la formule suivante:

$$V = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

3.4

étalonnage

processus permettant de déterminer le quotient entre les indications observées et la quantité mesurée.

3.5

réponse au rayonnement de référence (sensibilité)

R_{ref}

réponse de l'équipement dans des conditions normales d'essai (Tableau 1) à l'activité de référence exprimée par la relation:

$$R_{\text{ref}} = \frac{I_{\text{rp}} - I_{\text{b}}}{A_{\text{t}}}$$

où

I_{rp} est la valeur due à l'activité conventionnellement vraie de la source de référence et au bruit de fond;

I_{b} est la valeur due au bruit de fond seul;

A_{t} est la valeur de l'activité conventionnellement vraie de la source de référence.

3.6

activité minimale détectable

activité déterminée en accord avec l'ISO 11929-1

3.7

dynamique de mesure

quotient de la valeur du signal pour l'indication mesurable maximale d'une grandeur, par la valeur du signal pour l'indication détectable minimale de cette grandeur

3.8

erreur de mesure

différence entre l'activité indiquée A_i et l'activité conventionnellement vraie au point de mesure A_c .

$$\Delta A = A_i - A_c$$

3.9

erreur relative de mesure

rapport exprimé en pourcentages entre l'erreur de mesure et la valeur conventionnellement vraie

3.2**indicated (measured) activity**

activity indicated by the measuring assembly under test

3.3**coefficient of variation**

ratio V of the standard deviation s to the arithmetic mean of set of n measurements x_i given by the following formula

$$V = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

3.4**calibration**

process of determination of the numerical relationship between the observed indication and the value of the quantity being measured

3.5**reference radiation response (sensitivity)**

R_{ref}

response of the assembly under standard test conditions (Table 1) to the reference activity expressed as

$$R_{\text{ref}} = \frac{I_{\text{rp}} - I_{\text{b}}}{A_{\text{t}}}$$

where

I_{rp} is the indication due to the conventionally true activity of the reference source and to the background;

I_{b} is the indication due to the background alone;

A_{t} is the conventionally true activity of the reference source.

3.6**minimum detectable activity**

activity determined in accordance with ISO 11929-1

3.7**dynamic range**

quotient of the signal from the maximum measurable indication of a quantity to the signal from the minimum detectable value of that quantity

3.8**error of indication**

difference between the indicated activity A_i and the conventionally true activity at the point of measurement A_c

$$\Delta A = A_i - A_c$$

3.9**relative error of indication**

quotient, expressed as a percentage, of the error of indication by the conventionally true value

3.10

erreur relative intrinsèque

erreur relative d'une indication concernant une grandeur fournie par un matériel ou un ensemble de mesure soumis à une grandeur de référence donnée dans des conditions de référence déterminées, exprimée par la relation:

$$F = \frac{A_i - A_t}{A_t}$$

où

A_i est l'activité indiquée d'une grandeur;

A_t est valeur conventionnellement vraie de la grandeur au point de mesure de l'activité.

3.11

étendue de mesure

étendue des valeurs de la grandeur à mesurer dans laquelle les performances d'un équipement ou d'un ensemble satisfont aux exigences de ses spécifications

3.12

temps de mesure

temps compris entre le début de la mesure et l'acquisition de la lecture finale

3.13

résolution en énergie

largeur totale à mi-hauteur (LTMH)

La largeur totale est mesurée entre les deux points du spectre situés des deux côtés du centroïde de l'énergie d'intérêt pour lesquels le taux de comptage est moitié du maximum du pic.

La résolution relative en énergie R_e est donnée par

$$\text{LTMH} = \frac{\text{largeur totale exprimée en énergie (ou en nombre de voies)}}{\text{énergie (ou nombre de voies) du centroïde de l'énergie d'intérêt}} \%$$

NOTE La largeur totale peut ne pas être symétrique par rapport au centroïde.

3.14

essai de qualification

essai effectué afin de vérifier que les exigences d'une spécification sont respectées

NOTE Les essais de qualification sont subdivisés en essais de type et essais individuels de série

3.15

essai de type

essai effectué sur un ou plusieurs dispositifs réalisés selon une conception donnée pour vérifier qu'elle répond aux spécifications prescrite

[VEI 394-20-28]

3.16

essai individuel de série

essais auxquels chaque appareil est soumis individuellement, pendant ou après sa fabrication, pour s'assurer qu'il est conforme à certains critères

[VEI 394-20-08]

3.10**relative intrinsic error**

relative error of indication of a piece of equipment or an assembly with respect to a quantity when subjected to a specified reference quantity under specified reference conditions expressed as

$$F = \frac{A_i - A_t}{A_t}$$

where

A_i is the indicated value of a quantity;

A_t is the conventionally true value of the quantity at the point of measurement activity.

3.11**effective range of measurement**

range of values of the quantity to be measured over which the performance of a piece of equipment or assembly meets the requirements of its specifications

3.12**measurement time**

time delay between the initiation of the measurement and the attainment of the final reading

3.13**energy resolution**

full width at half maximum (FWHM)

The full width is measured between the two points on the spectrum situated on either side of the centroid due to the energy of interest where the count rate in the energy channel is half that of the peak maximum

The relative energy resolution R_e is given by

$$FWHM = \frac{\text{full width in terms of energy (or channel number)}}{\text{the energy (or channel number) of the centroid of the energy of interest}} \%$$

NOTE The full width may not be symmetric in relation to the centroid.

3.14**qualification test**

test performed in order to verify that the requirements of a specification are fulfilled

NOTE Qualification tests are subdivided into type tests and routine tests.

3.15**type testing**

conformity testing on the basis of one or more specimens of a product representative of the production

[IEV 394-20-28]

3.16**routine test**

test to which an individual device is subjected during or after manufacture to ascertain whether it complies with certain criteria

[IEV 394-20-08]

3.17

essai de réception

essais contractuels pour prouver au client que l'appareil remplit certaines conditions de ses spécifications

[VEI 394-20-09]

3.18

unités

les unités du système international (SI)¹ sont utilisées. La définition des termes des grandeurs de rayonnement et de dosimétrie est donnée dans la CEI 60050(393) et la CEI 60050(394). Les unités non-SI correspondantes sont données entre parenthèses

3.19

activité

l'unité SI relative à la radioactivité d'une matière est le Becquerel (symbole Bq)

$$\begin{aligned} 1 \text{ Bq} &= 1 \text{ transition nucléaire (désintégration) par seconde} \\ &= 1 \text{ désintégration s}^{-1} \end{aligned}$$

La grandeur a l'unité s⁻¹

3.20

unités non SI

les unités suivantes sont également utilisées par souci de commodité:

Concernant l'énergie: électronvolt (eV)

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Concernant la durée: année (a), jour (j), heure (h), minute (min)

4 Classification

4.1 Classification générale

En fonction du type d'éléments et de la gamme d'énergie à détecter, les systèmes de contrôle in vivo peuvent être classés de façon pratique en tenant compte de deux considérations;

- la gamme d'énergie;
- la spécificité de la mesure.

En outre, les anthroporadiamètres ou les autres types de systèmes de contrôle in vivo peuvent être classés selon quatre types en fonction des critères suivants:

- problème et tâche à résoudre;
- effectif du personnel opérationnel;
- effectif des personnes à contrôler;
- type d'accident nucléaire (pour le contrôle post-accidentel);
- environnement proche;
- la méthode utilisée pour transporter l'équipement.

NOTE Du fait que les systèmes de mesure in vivo peuvent inclure des spectromètres gamma, leurs caractéristiques peuvent correspondre à l'un des groupes des Tableaux 4 et 5 de la CEI 61276.

¹ Bureau international des poids et mesures: Le Système international d'unités (SI), 7^e édition, 1998.

3.17**acceptance test**

contractual test to prove to the customer that the device meets certain conditions of its specification

[IEV 394-20-09]

3.18**units**

units of the International System (SI)¹ are used. The definition of radiation quantities and dosimetric terms are given in IEC 60050(393) and IEC 60050(394). The corresponding non-SI units are indicated in brackets

3.19**activity**

the SI unit of radioactivity of any material is the Becquerel (symbol Bq)

1 Bq = 1 nuclear transition (decay) in a second

= 1 decay s⁻¹

The quantity has the unit s⁻¹

3.20**Non-SI units**

The following units are also used for convenience:

For energy: electron volt (eV)

1 eV = 1,602 × 10⁻¹⁹ J

For time: year (y), day (d), hour (h), minute (min)

4 Classification**4.1 General classification**

Dependent on the type of elements and on the range of energy to be detected in vivo, monitors can be conveniently classified taking account of two considerations:

- the range of energy;
- the specificity of the measurement.

Besides, whole body counters or other types of in vivo monitoring systems can be classified into four types depending on the following:

- problem and task to be solved;
- the number of operational staff;
- the number of people to be monitored;
- the type of nuclear accident (for post-accident monitoring);
- the local environment;
- the method used to transport the system.

NOTE Since in vivo counters may include gamma-spectrometers, their characteristics may correspond to one of the groups of Tables 4 and 5 of IEC 61276.

¹

Bureau international des poids et mesures: Le Système international d'unités (SI), 7e édition, 1998.

4.2 Classification en fonction des gammes d'énergie

4.2.1 Equipements de contrôle in vivo basse énergie (gamme de 10 keV à 200 keV)

Ces systèmes de mesure in vivo sont utilisés pour détecter les émetteurs basse énergie (essentiellement les actinides tels que le Pu, l'Am, l'U et les nucléides à capture d'électrons). Etant donné leur translocation minimale, ces radionucléides sont généralement situés dans un poumon, et les mesures sont effectuées de préférence dans cet organe. Toutefois, des mesures dans d'autres organes peuvent également être envisagées.

4.2.2 Equipements de contrôle in vivo haute énergie (gamme de 100 keV à 3 MeV)

Ces systèmes de mesure in vivo sont utilisés pour détecter les émetteurs haute énergie et incluent la mesure des produits d'activation et des produits de fission. Du fait de leur translocation rapide, les mesures sont généralement effectuées sur le corps entier. Toutefois, des mesures au niveau des organes peuvent également être envisagées.

4.3 Classification en fonction de la spécificité de la mesure

Elle dépend de l'importance du personnel opérationnel, du nombre de personnes à contrôler, du type d'accident nucléaire (pour le contrôle post-accidentel), de l'environnement proche et du moyen de transport des équipements de contrôle sur les sites.

4.3.1 Type 1 – Spécifique d'un ou plusieurs nucléides et d'un organe ou d'une partie spécifique du corps, avec bruit de fond très faible

Ces systèmes de mesure in vivo sont des équipements précis, pour le contrôle radiologique bas niveau, destinés à mesurer la radioactivité de façon aussi exacte et reproductible que possible; Ils sont généralement installés dans les institutions de recherche sur l'énergie nucléaire, dans les centrales nucléaires, au sein des laboratoires des centres de soins d'urgence, dans les universités et les hôpitaux à des fins de recherche.

Les équipements de détection et les mécanismes de déplacement des détecteurs sont montés dans une salle blindée où une attention particulière est portée sur les matériaux recouvrant les murs et sur l'air qui pénètre dans la pièce (radon).

Un système de traitement et d'analyse, d'affichage et de stockage des données complète l'équipement de contrôle.

4.3.2 Type 2 – Spécifique d'un ou plusieurs nucléides et d'un organe ou d'une partie spécifique du corps, avec bruit de fond faible

Ces systèmes de mesure in vivo sont utilisés pour évaluer la dose interne des individus et sont habituellement destinés aux institutions de recherche sur l'énergie nucléaire, les centrales nucléaires, les centres de soins d'urgence etc.

La structure de ce type de système de mesure in vivo est adaptée à un contrôle plus rapide de nombreux sujets; une structure à écran partiel plus simple que dans la construction de type 1 (structure ouverte couvrant uniquement les détecteurs et leurs accessoires) devrait satisfaire cette exigence.

4.3.3 Type 3 – Spécifique d'un ou de plusieurs nucléides

Ces systèmes de mesures in vivo sont des systèmes de dépistage standards pour les travailleurs affectés à des travaux sous rayonnements et pour le dépistage de masse du public à la suite d'accidents nucléaires. Ce dernier dépistage peut constituer une mesure initiale ou une mesure secondaire visant à déterminer toute modification des conditions.

Ces appareils sont facilement transportables d'un endroit à un autre.

4.2 Energy range classification

4.2.1 Low energy in vivo monitoring (range from 10 keV to 200 keV)

These in vivo counters are used for the detection of low-energy emitters (essentially actinides such as Pu, Am, U and electron capture nuclides). Because of their minimal translocation, these radionuclides are normally located in the lung, and measurements are made preferentially in this organ. However, measurements in other organs can also be considered.

4.2.2 High energy in vivo monitoring (range from 100 keV to 3 MeV)

These in vivo counters are used for the detection of high-energy emitters including activation products and fission product measurements. Because of their rapid translocation, the measurements are generally made on the whole body. However, measurements in other organs can also be considered.

4.3 Specificity of the measurement

This is dependent on the number of operational staff, the number of people to be monitored, the type of nuclear accident (for post-accident monitoring), the local environment and the method of transporting the monitoring equipment to any site.

4.3.1 Type 1 – Nuclide specific, spatially specific with very low background

These in vivo counters are precise low-level radiological monitoring equipment for the measurement of radioactivity as accurately and precisely as possible and are generally installed in atomic energy research institutions, atomic power plants, emergency treatment centres laboratories, universities and hospitals for research purposes.

The detector assemblies and driving mechanisms to move the detectors are mounted in a shielded room where special attention is paid to the materials lining the walls and to the air entering the room (radon).

Data processing and analysis and display and data storage equipment complete the whole monitoring equipment.

4.3.2 Type 2 – Nuclide specific, spatially specific with low background

These in vivo counters are used for the estimation of internal dose of individuals and are normally intended for atomic energy research institutions, atomic power plants, emergency treatment centres, etc.

The structure of this type of in vivo counter is suited to the more rapid monitoring of many subjects; a shadow shield structure (open structure covering only the detectors and their accessories), simpler than the type 1 construction, would meet this requirement.

4.3.3 Type 3 – Nuclide specific

These in vivo counters are general screening counters for radiation workers and for the mass screening of the general public after nuclear accidents. This latter screening may be an initial measurement or a subsequent measurement to determine any changes in condition.

These units are relatively easy to transfer from one place to another.

4.3.4 Type 4 – Non-spécifique d'un nucléide ni d'un organe ou d'une partie du corps

Ces systèmes de mesure in vivo remplissent une fonction similaire à ceux du type 3, et sont de conception très similaire, à ceci près que les détecteurs peuvent être très grands.

NOTE Du fait de la difficulté de la mesure et de la dépendance élevée au bruit de fond, les mesures dans la gamme basse énergie nécessitent des équipements avec bruit de fond faible. Par conséquent, les équipements de type 3 et de type 4 ne sont pas destinés à cette gamme d'énergie.

5 Généralités

5.1 Description générale du système

5.1.1 Généralités

Les mesures doivent être facilement réalisables et effectuées aussi vite que possible en fonction de la sensibilité requise afin qu'un grand nombre de travailleurs ou de personnes du public puissent être contrôlés efficacement. Des moyens devront être disponibles pour permettre le stockage des résultats dans des bases de données.

Les instruments doivent être étalonnés à l'aide de fantômes simulant le corps humain ou, le cas échéant, des organes humains.

L'instrument qui mesure la teneur des radionucléides dans le corps humain peut comporter les principaux composants suivants:

- équipement de contrôle pour détecter la radioactivité comprenant un ensemble de détection et un ensemble de mesure;
- équipement auxiliaire.

L'équipement de contrôle qui permet de détecter les radionucléides comprend les parties suivantes qui peuvent ou non constituer un seul ensemble mécanique:

- équipement de détection;
- équipement de mesure.

5.1.2 L'équipement de détection

L'équipement de détection peut comprendre les éléments suivants:

- détecteur (compteurs à scintillation ou détecteurs semi-conducteurs. Dans le dernier cas, comportant un cryostat);
- préamplificateur(s);
- détecteur(s) supplémentaire(s) nécessaire(s) pour déterminer le bruit radiatif ambiant et la compensation de la mesure par rapport au bruit radiatif ambiant;
- alimentation électrique stabilisée pour les détecteurs;
- collimateur(s);
- systèmes de blindages (fer, plomb, etc.);
- chambre, un fauteuil, une chaise, un lit, une cellule, etc. (en fonction de la position requise par la mesure).

5.1.3 L'équipement de mesure

L'équipement de mesure peut comprendre certains ou la totalité des appareils suivants:

- équipement de mesure pour le ou les détecteurs) primaires;

4.3.4 Type 4 – Non-nuclide and non-spatial specific

These in vivo counters perform a similar function to the type 3 and are very similar in design except that the detectors may be quite large.

NOTE Because of the difficulty of measurement and the high background dependency, measurements in the low-energy range need low background equipment. Consequently, the type 3 and type 4 equipment is not used for this range of energy.

5 General

5.1 General description of the instrument

5.1.1 General

Measurements shall be easy to make and shall be made as quickly as possible relevant to the sensitivity required so that a large number of workers or a general population can be dealt with efficiency. Facilities shall be available to introduce the results into a database.

The instruments shall be calibrated with the help of phantoms simulating the human body or where applicable separate human organs.

The instrument for measurement of the content of radionuclides in the human body may consist of the following main components:

- monitoring equipment for the detection of radioactivity including detection assembly and measurement assembly;
- auxiliary equipment.

The monitoring equipment for the detection of radionuclides contains the following parts which may or may not form a single mechanical assembly:

- detection assembly;
- measurement assembly.

5.1.2 Detection assembly

The detection assembly may consist of the following units:

- detector (scintillation counters or semi-conductor detectors, in the latter case including cryostat);
- preamplifier(s);
- additional detector(s) for the determination of ambient background radiation and compensation of the measurement against ambient background radiation;
- stable power supply for the detectors;
- collimator(s);
- shielding (iron, lead, etc.);
- chamber, armchair, chair, couch, cell, etc. (depending on the measurement geometry).

5.1.3 Measurement assembly

The measurement assembly may consist of some or all of the following units:

- measuring assembly for primary detector(s);

- équipement de mesure pour le circuit de compensation du contrôle du bruit radiatif ambiant;
- système d'entrée et de traitement des données anatomiques de la personne (poids, taille, etc.);
- équipement de mesure ou spectromètre;
- équipement de traitement de données;
- alimentation électrique stabilisée.

5.1.4 L'équipement auxiliaire

L'équipement auxiliaire peut comprendre les appareils suivants:

- lecteurs pour l'enregistrement auxiliaire et le stockage des informations;
- système de détermination de la masse des personnes (du poids);
- fantômes;
- source(s) radioactive(s) spectrométrique(s) de qualité pour le calage du spectre.

5.1.5 Facilité d'utilisation

L'instrument et l'équipement doivent être conçus de telle sorte que la mise en place du sujet dans une position de mesure correcte et les mouvements de celui-ci dans cette position soient aisés.

5.1.6 Facilité de décontamination

Le ou les détecteurs et les autres parties de l'instrument et de l'équipement doivent être conçus pour minimiser le risque de contamination, et que la décontamination et le démontage soient faciles.

Cela ne s'applique pas aux situations pour lesquelles les risques de contamination sont exclus.

5.1.7 Taille du sujet

L'équipement doit être conçu pour contrôler tout individu ayant une taille comprise entre 145 cm et 200 cm, et ayant une épaisseur antéro-postérieure maximale de 40 cm.

Lorsque l'équipement est conçu pour contrôler des enfants, les limites de taille des enfants pour lesquelles cet équipement spécial est conçu doivent être mentionnées par le fabricant.

5.2 Méthode de mesure

Afin d'obtenir des performances optimales, un blindage bas bruit de fond ou une collimation des détecteurs doivent être utilisés et être combinés à une position optimale du sujet selon que l'équipement est conçu pour un sujet debout, assis ou allongé.

5.3 Gamme d'énergie

Il convient que la gamme d'énergie soit définie comme indiquée en 4.2.

Lorsque l'équipement est utilisé pour mesurer des radionucléides spécifiques, les instruments doivent être conçus pour mesurer l'émission de photon primaire des radionucléides d'intérêt. Il convient de pouvoir modifier, manuellement ou automatiquement, les niveaux du discriminateur ainsi que les largeurs des canaux afin que d'autres radionucléides, ayant des émissions dans la gamme d'énergie spécifiée, puissent être mesurés.

- measuring assembly for ambient background monitoring compensation circuit;
- systems for the entry and treatment of anatomical information (weight, height, etc.);
- measurement unit, or spectrometer;
- data processing unit;
- stable power supply.

5.1.4 Auxiliary equipment

The auxiliary equipment may consist of the following units:

- drives for auxiliary recording and information storage;
- mass (weight) determination equipment;
- phantoms;
- source(s) for producing a high-quality check spectrum.

5.1.5 Ease of operation

The design of the instrument and equipment shall be such that the placing of the subject into the correct measuring position and movement from this position is easy.

5.1.6 Ease of decontamination

The detector(s) and other parts of the instrument and equipment shall be designed so as to minimize the possibility of contamination and be both easy to de-contaminate and dismantle.

This is not applicable to situations where the risks of contamination are excluded.

5.1.7 Size of subject

The equipment shall be designed to monitor all persons between 145 cm and 200 cm in height and having a maximum anterior-posterior dimension of 40 cm.

Where the equipment is designed to monitor children, the dimensional limits of the children for whom the particular equipment is designed shall be stated by the manufacturer.

5.2 Measurement method

To obtain the maximum performance, low background shielding or collimation of the detectors shall be used in combination with the optimum position of the subject dependent on whether the equipment is designed for the subject to be standing, sitting, or lying.

5.3 Energy range

The energy range should be as defined in 4.2.

Where the equipment is to measure specific radionuclides, instruments shall be set to measure the primary photon emission of the radionuclides of interest. It should be possible, either manually or automatically, to change the discriminator levels and channel widths so that other radionuclides with emissions within the specified energy range can be measured.

Les indications des réglages des niveaux des seuils en termes d'énergie, de l'énergie du photon primaire en cours de détection et les nucléides en cours de mesure, doivent être données.

5.4 Bruit de fond

Le bruit de fond radiatif indiqué est dû:

- au bruit de fond ambiant;
- à la radioactivité des composants de l'instrument ou équipement;
- à la contamination du détecteur et/ou de la chaise, etc.;
- au bruit électronique de l'équipement de détection;
- à l'activité interne naturelle de la personne (potassium-40).

Etant donné que certains instruments peuvent être utilisés de façon continue, il convient d'effectuer des contrôles périodiques pour toute modification des conditions du bruit de fond. Les contrôles du bruit de fond peuvent être réalisés de façon automatique. Lorsque des modifications des réglages sont effectuées (pour d'autres nucléides), un affichage doit indiquer que la compensation du bruit de fond est à modifier, si cela n'est pas fait automatiquement, ou doit indiquer la nécessité de remesurer le bruit de fond lorsque la compensation de celui-ci n'est pas automatique. Il doit être impossible de modifier de tels réglages pendant la mesure de la contamination d'une personne.

5.5 Domaine de mesure

Le domaine de mesure ne doit pas être inférieur à trois décades. L'instrument doit fonctionner conformément aux exigences de la présente norme et sur tout le domaine de mesure.

5.6 Activité minimale détectable

Pour déterminer le taux de comptage minimal détectable, il convient de se référer à l'ISO 11929-1.

Pour toute mesure particulière, l'activité minimale détectable peut être déterminée à partir de la relation

$$\frac{LLD}{\varepsilon}$$

où ε est le rendement de détection pour la mesure d'un radionucléide particulier dans un organe donné, exprimé normalement en taux de comptage par unité d'activité (Bq);

LLD correspond au seuil de décision en termes de taux de comptage et est égale à

$$\frac{1}{2t_0} k_{1-\alpha}^2 \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4R_b t_0}{k_{1-\alpha}^2} \left(1 + \frac{t_0}{t_b} \right)} \right]$$

où

R_b est le taux de comptage du bruit de fond;

t_0 est le temps de mesure;

t_b est le temps de mesure du bruit de fond;

$k_{1-\alpha}$ sont les quantiles de la répartition normale standard.

Indication of the threshold levels set in terms of energy, the primary photon energy being detected or the nuclides being measured shall be given.

5.4 Background

Indicated background radiation is due to

- ambient background radiation;
- intrusive radioactivity in the components of the instrument or equipment;
- contamination of the detector and/or chair, etc.;
- detector assembly noise;
- naturally occurring internal activity (potassium-40).

Since some instruments may be in continuous use, periodic checks should be made for any change in background conditions. Background checks may be carried out automatically. Where changes in the settings are made (for alternative nuclides), indication shall be made of the necessity of changing the background compensation where this is not automatic or of the necessity of accumulating background information where background compensation is not automatic. It shall not be possible to alter such settings during the measurement of contamination in a person.

5.5 Measurement range

The range of measurement shall not be less than three decades. The instrument shall operate within the requirements of this standard over the whole indicated measuring range.

5.6 Minimum detectable activity

Reference should be made to ISO 11929-1 for the determination of the minimum detectable count-rate.

For any particular measurement the minimum detectable activity can be determined from the relationship

$$\frac{LLD}{\varepsilon}$$

where ε is the efficiency of detection for the measurement of a particular radionuclide in a specified organ, normally expressed in count-rate per unit of activity (Bq);

LLD is the lower limit of decision threshold in terms of count rate and equal to

$$\frac{1}{2t_0} k_{1-\alpha}^2 \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4R_b t_0}{k_{1-\alpha}^2} \left(1 + \frac{t_0}{t_b} \right)} \right]$$

where

R_b is the background count rate;

t_0 is the measuring time;

t_b is the background measuring time;

$k_{1-\alpha}$ are the quantiles of the standard normal distribution.

Afin de satisfaire les exigences de la présente norme, $k_{1-\alpha}$ doit prendre la valeur 2,326, c'est-à-dire qu'il y aura 1 % de chance qu'une activité soit indiquée alors qu'aucune activité n'était présente.

6 Caractéristiques des équipements de mesure des émetteurs de basse énergie

6.1 Gamme d'énergie (10 keV à 200 keV)

L'équipement doit être capable de détecter des raies gamma ou X d'énergie comprise au moins entre 10 keV et 200 keV.

6.2 Activité minimale détectable

L'activité minimale détectable doit être déterminée pour chaque type d'instrument, dans des conditions de bruit de fond et un temps de mesure donnés, et pour chaque radionucléides d'intérêt (voir 5.6).

6.3 Domaine de mesure de l'activité

L'équipement doit au minimum être capable de mesurer, dans le corps ou les organes d'intérêt, les activités suivantes concernant l'Am-241 et l'U-235 lorsque le bruit de fond à proximité de l'équipement est identique à celui donné dans la condition de référence du Tableau 1. Ces activités sont exprimées en becquerels et se réfèrent à un intervalle de confiance de 1 % ($k_{1-\alpha} = 2,326$ tel que spécifié dans la norme ISO 11929-1 pour la limite de détection).

		Am-241	U-235
Type 1	Systèmes de mesure in vivo	25	25
Type 2	Systèmes de mesure in vivo	45	40

6.4 Résolution en énergie

La résolution en énergie des instruments équipés d'un détecteur à scintillation ne doit pas dépasser une LTMH (Largeur Totale à Mi-Hauteur) de 25 keV pour la raie gamma de 59,54 keV de l'Américium-241, et doit être indiquée par le fabricant.

La résolution en énergie des instruments équipés d'un détecteur à semi-conducteur au Germanium ne doit pas dépasser une LTMH de 1,5 keV pour la raie gamma de 59,54 keV de l'Américium-241, et ne doit pas dépasser 2 keV pour la raie gamma de 122,1 keV du Cobalt-57; elle doit être indiquée par le fabricant.

NOTE Ces résolutions sont obtenues avec des sources spectrométriques en espace libre (voir 5.1.4). Les spectres obtenus en fonctionnement normal seront déformés à cause de l'auto-absorption et de la diffusion des photons dans les tissus. Le degré de déformation dépend de l'emplacement du radionucléide dans le corps.

6.5 Non-linéarité intégrale

La limite admise de la réponse de conversion (non-linéarité intégrale) dans des conditions de référence concernant des instruments équipés de détecteurs à scintillation ne doit pas dépasser:

– $\pm 0,5$ % pour les systèmes de mesure in vivo de type 1 et de type 2.

For the purposes of meeting the requirements of this standard, $k_{1-\alpha}$ shall take the value 2,326 i.e. there will be 1 % risk of activity indicated when in fact there is no activity present.

6 Characteristics of equipment for low-energy emitter measurement

6.1 Energy range (10 keV to 200 keV)

The equipment shall have the capability of resolving specific gamma or X-rays of energy between at least 10 keV and 200 keV.

6.2 Minimum detectable activity

The minimum detectable activity shall be determined for each type of instrument for specified background conditions and monitoring time for each of the radionuclides of interest (see 5.6).

6.3 Ranges of measurement of activity

As a minimum, the equipment shall be capable of measuring in the body or organ of interest the following activities for either Am-241 or U-235 where the background in the vicinity of the equipment is as given under the reference condition given in Table 1. These activities are specified in becquerels and relate to a 1 % confidence interval ($k_{1-\alpha} = 2,326$ as given in ISO 11929-1 for the limit of detection).

		Am-241	U-235
Type 1	In vivo counters	25	25
Type 2	In vivo counters	45	40

6.4 Energy resolution

The energy resolution of scintillation detector-based instruments shall not exceed an FWHM (full width half maximum) of 25 keV for the 59,54 keV gamma line of Americium-241 decay and shall be stated by the manufacturer.

The energy resolution of Germanium semi-conductor detector-based instrument should not exceed an FWHM of 1,5 keV for the 59,54 keV gamma line of Americium-241 and shall not exceed 2 keV for the 122,1 keV gamma line of Cobalt-57 and shall be stated by the manufacturer.

NOTE These resolutions are obtained with spectrometric sources (see 5.1.4) in free space, but spectra obtained in normal operation will be distorted because of self-absorption and scattering of quanta in tissue. The degree of distortion depends on the location of the radionuclide in the body.

6.5 Integral non-linearity

The permissible limit of the integral non-linearity under reference conditions for instruments with scintillation detectors shall not exceed

– $\pm 0,5 \%$ for type 1 and type 2 in vivo counters.

La limite admise de la réponse de conversion (non-linéarité intégrale) dans des conditions de référence concernant les instruments équipés de détecteurs à semi-conducteurs au Germanium ne doit pas dépasser:

- $\pm 0,1$ % pour les systèmes de mesure in vivo de type 1;
- $\pm 0,2$ % pour les systèmes de mesure in vivo de type 2.

6.6 Niveau du bruit de fond naturel

Le taux de comptage du bruit de fond mesuré dans les régions d'énergie mentionnées doit être défini pour un bruit de fond naturel externe. Le niveau du bruit de fond naturel doit être spécifié.

Le fabricant doit indiquer le taux de comptage de bruit de fond provenant du bruit de fond naturel dans des conditions de fonctionnement normales (avec un fantôme non radioactif présent). Concernant les systèmes de mesure spécifiques d'un nucléide, ce taux de comptage doit se référer à des domaines d'énergie spécifiques du radioélément. Le fabricant doit indiquer le débit d'équivalent de dose du bruit de fond pour lequel les mesures ont été faites. Dans le cas d'installations fixes, cette information doit se rapporter au bruit de fond sur le lieu de l'installation.

6.7 Réponse au rayonnement de référence

La réponse de l'équipement

- doit être déterminée pour un nucléide spécifique fonction de l'organe d'intérêt
ou
- doit être telle que définie par l'ISO pour le comptage d'un poumon²
ou
- doit être définie en accord par l'acheteur et le fabricant. Le fabricant doit préciser le fantôme utilisé

Si le comptage est spécifique d'organes particuliers ou de parties du corps, les fantômes utilisés doivent l'être dans le cadre d'un accord entre l'acheteur et le fabricant.

Le fabricant doit spécifier la méthode employée pour déterminer la réponse au rayonnement de référence.

Pour les poumons, la réponse pour la raie gamma 59,54 keV de l'Américium-241 doit être déterminée en utilisant d'un fantôme uniformément contaminé simulant les 2 poumons et se trouvant à l'intérieur d'un fantôme simulant un corps humain inactif.

7 Caractéristiques des équipements de mesure des émetteurs de haute énergie de 100 keV à 3 MeV

7.1 Activité minimale détectable

L'activité minimale détectable doit être déterminée pour chaque type d'instrument, pour des conditions de bruit de fond et une durée de contrôle données pour chaque radionucléide d'intérêt (voir 5.6).

² Au moment de la publication du présent document, aucun document ISO n'existe.

The permissible limit of integral non-linearity under reference conditions for instruments with Germanium semi-conductor detectors shall not exceed

- $\pm 0,1$ % for type 1 in vivo counters;
- $\pm 0,2$ % for type 2 in vivo counters.

6.6 Natural background level

The measured background count-rate for the stated energy regions shall be defined for a natural external background. The level of the natural background shall be specified.

The manufacturer shall state the background count-rate obtained from the naturally occurring background under normal operating conditions (with a non-radioactive phantom present). For nuclide specific counters, this shall relate to a number of specific energy regions. The manufacturer shall state the background dose equivalent rate at which the measurements were made. In the case of fixed installations, this information shall relate to the background at the installation.

6.7 Reference radiation response

The response of the equipment

- shall be determined for a particular nuclide dependent on the organ of interest
- or
- shall be as defined by ISO for the purposes of lung counting²
- or
- shall be agreed between the purchaser and the manufacturer, and the manufacturer shall specify the phantom used.

Where the counting is specific to particular organs or parts of the body the phantoms used shall be by agreement between the purchaser and manufacturer.

The manufacturer shall specify the method used to determine the reference radiation response.

For the lungs, the response to the 59,54 keV gamma line of Americium-241 shall be determined by the use of a uniformly contaminated lung phantom within an inactive whole body phantom.

7 Characteristics of equipment for high-energy emitter measurements 100 keV to 3 MeV

7.1 Minimum detection activity

The minimum detection capability shall be determined for each type of instrument for specified background conditions and monitoring time for each of the radionuclides of interest (see 5.6).

² At the time of publication of this document, no ISO document exists.

7.2 Echelles de mesure

Il convient que l'équipement soit au minimum capable de mesurer les activités suivantes du Cobalt-60 et du Césium-137, dans le corps ou les organes d'intérêt, lorsque le bruit de fond à proximité de l'équipement est comme donné dans la condition de référence du Tableau 1. Ces activités sont exprimées en becquerels et se réfèrent à un intervalle de confiance de 1 % ($k_{1-\alpha} = 2,326$ tel que spécifié dans l'ISO 11929-1 pour le seuil de décision).

		Cobalt-60	Césium-137
Type 1	Systèmes de mesure in vivo	20	40
Type 2	Systèmes de mesure in vivo	40	80
Type 3	Systèmes de mesure in vivo	200	400
Type 4	Systèmes de mesure in vivo	200	400

7.3 Résolution en énergie

Cette exigence concerne uniquement l'équipement conçu pour réaliser des spectres d'énergie et capable d'identifier la contribution des radionucléides individuels à l'activité totale. Cette exigence ne concerne pas les systèmes de mesure d'activité globale qui relèvent de la catégorie de Type 4.

La résolution en énergie relative des instruments équipés d'un détecteur à scintillation ne doit pas dépasser une LTMH de 9 % pour la raie gamma de 661,7 keV du Césium-137, et doit être indiquée par le fabricant.

Il convient que la résolution en énergie des instruments équipés d'un détecteur à semi-conducteur au Germanium ne dépasse pas une LTMH de 2 keV pour la raie gamma de 661,7 keV du Césium-137, et elle ne doit pas dépasser 4,0 keV pour la raie gamma de 1,3325 MeV du Cobalt-60; elle doit être indiquée par le fabricant.

La résolution relative en énergie des instruments, équipés de détecteurs au Germanium d'un volume actif de 50 cm³ à 100 cm³, ne doit pas dépasser une LTMH de 3 % pour la raie gamma de 1,3325 MeV du Cobalt-60.

NOTE Ces résolutions sont obtenues avec des sources spectrométriques en espace libre mais les spectres obtenus en fonctionnement normal seront déformés à cause de l'auto-absorption et de la diffusion des photons dans les tissus. Le degré de déformation dépend de l'emplacement du radionucléide dans le corps.

7.4 Non-linéarité intégrale

La limite de réponse de conversion admise (non-linéarité intégrale) dans des conditions de référence concernant les instruments dotés de détecteurs à scintillation ne doit pas dépasser:

- $\pm 0,5$ % pour les systèmes de mesure in vivo de type 1 et de type 2;
- $\pm 1,0$ % pour les systèmes de mesure in vivo de type 3.

La limite de la réponse de conversion admise (non-linéarité intégrale) dans les conditions de référence concernant les instruments dotés de détecteurs semi-conducteurs au Germanium ne doit pas dépasser:

- $\pm 0,1$ % pour les systèmes de mesure in vivo de type 1;
- $\pm 0,2$ % pour les systèmes de mesure in vivo de type 2;
- $\pm 0,3$ % pour les systèmes de mesure in vivo de type 3.

7.2 Ranges of measurement

As a minimum, the equipment should be capable of measuring the following activities in the body or organ of interest for Cobalt-60 and Caesium-137 where the background in the vicinity of the equipment is as given under the reference condition given in Table 1. These activities are specified in becquerels and relate to a 1 % confidence interval ($k_{1-\alpha} = 2,326$ as given in ISO 11929-1 for the decision threshold).

		Cobalt-60	Caesium-137
Type 1	In vivo counters	20	40
Type 2	In vivo counters	40	80
Type 3	In vivo counters	200	400
Type 4	In vivo counters	200	400

7.3 Energy resolution

This requirement relates solely to equipment designed to produce energy spectra and be able to identify the contribution to the total activity of individual radionuclides. It is not a requirement for gross activity counting systems which fall into the Type 4 category.

The relative energy resolution in relation to the FWHM of scintillation detector-based instruments shall not exceed 9 % for the 661,7 keV gamma line of Caesium-137 decay and shall be stated by the manufacturer.

The energy resolution of Germanium semi-conductor detector-based instrument should not exceed an FWHM of 2 keV for the 661,7 keV gamma line of Caesium-137 and shall not exceed 4,0 keV for the 1,3325 MeV gamma line of Cobalt-60 and shall be stated by the manufacturer.

The relative energy resolution of instruments with Germanium detectors of active volume 50 cm³ to 100 cm³ for the 1,3325 MeV gamma line of Cobalt-60 shall not exceed an FWHM of 3 %.

NOTE These resolutions are obtained with spectrometric sources in free space but spectra obtained in normal operation will be distorted because of self-absorption and scattering of quanta in tissue. The degree of distortion depends on the location of the radionuclide in the body.

7.4 Integral non-linearity

The permissible limit of the conversion response (integral non-linearity) under reference conditions for instruments with scintillation detectors shall not exceed

- $\pm 0,5$ % for type 1 and type 2 in vivo counter;
- $\pm 1,0$ % for type 3 in vivo counter.

The permissible limit of conversion response (integral non-linearity) under reference conditions for instruments with Germanium semi-conductor detectors shall not exceed

- $\pm 0,1$ % for type 1 in vivo counter;
- $\pm 0,2$ % for type 2 in vivo counter;
- $\pm 0,3$ % for type 3 in vivo counter.

7.5 Niveau du bruit de fond naturel

Le taux de comptage du bruit de fond mesuré pour les régions d'énergie mentionnées doit être défini pour un bruit de fond naturel externe. Le niveau du bruit de fond naturel doit être spécifié.

Le fabricant doit indiquer le taux de comptage du bruit de fond provenant du bruit de fond naturel dans des conditions de fonctionnement normales (avec un fantôme non radioactif présent). Concernant les systèmes de mesure de nucléide spécifique, ce taux de comptage doit se référer à un nombre de régions d'énergie spécifiques. Dans le cas d'installations fixes, cette information doit se rapporter au bruit de fond sur le lieu de l'installation.

7.6 Réponse au rayonnement de référence

La réponse de l'équipement doit être déterminée pour un nucléide spécifique en fonction de l'organe d'intérêt.

Exemple:

Pour le corps entier, la réponse à la raie gamma de 661,7 keV du Césium-137

- doit être déterminée par l'utilisation d'un fantôme simulant un corps humain uniformément chargé en Césium-137

ou

- doit être telle que définie par l'ISO dans le cadre du comptage d'un poumon³

ou

- doit être définie en accord par l'acheteur et le fabricant. Le fabricant doit spécifier le fantôme utilisé.

Lorsque le comptage est propre à des organes particuliers ou à des parties du corps, les fantômes utilisés doivent l'être dans le cadre d'un accord entre l'acheteur et le fabricant.

Concernant les poumons, la réponse à la raie gamma de 1,3325 MeV du Cobalt-60 doit être déterminée par l'utilisation d'un fantôme simulant un poumon uniformément chargé en Cobalt-60 et se trouvant à l'intérieur d'un fantôme simulant un corps humain entier non chargé.

Concernant la thyroïde, la réponse à la raie gamma de 364,5 keV de l'Iode-131 doit être déterminée par l'utilisation d'un fantôme simulant une thyroïde uniformément chargée en Iode-131 et se trouvant à l'intérieur d'un fantôme simulant un cou non chargé.

7.7 Activité maximale mesurable

En ce qui concerne le nucléide de référence, l'activité maximale mesurable spécifiée par le fabricant doit être telle que toute erreur causée par un temps mort dans le système de comptage n'induit pas une erreur de mesure supérieure à 10 %.

7.8 Temps de préchauffage

Le temps de préchauffage doit être défini par le fabricant.

7.9 Temps de mesure

Pour répondre au domaine de mesure spécifiée en 7.2, la mesure ne doit pas dépasser 30 min pour les types 1 et 2, et 5 min pour les types 3 et 4. Cela n'exclut pas l'aptitude à effectuer des mesures sur des périodes plus longues.

³ Au moment de la publication du présent document, aucun document ISO n'existe.

7.5 Natural background level

The measured background count-rate for the stated energy regions shall be defined for a natural external background. The level of the natural background shall be specified.

The manufacturer shall state the background count rate obtained from naturally occurring background under normal operating conditions (with a non-radioactive phantom present). For nuclide specific counters, this shall relate to a number of specific energy regions. In the case of fixed installations, this information shall relate to the background at the installation.

7.6 Reference radiation response

The response of the equipment shall be determined for particular nuclide dependent on the organ of interest.

Example:

For the whole body, the response to the 661,7 keV gamma line of Caesium-137

- shall be determined by the use of a whole-body phantom uniformly loaded with Caesium-137;
- or
- shall be as defined by ISO for the purposes of lung counting³;
- or
- shall be as agreed between the purchaser and manufacturer; the manufacturer shall specify the phantom used.

Where the counting is specific to particular organs or parts of the body, the phantoms used shall be by agreement between the purchaser and the manufacturer.

For the lungs, the response to the 1,3325 MeV gamma line of Cobalt-60 shall be determined by the use of a lung phantom uniformly loaded with Cobalt-60 within a non-loaded whole-body phantom.

For the thyroid the response to the 364,5 keV gamma line of Iodine-131 shall be determined by the use of a thyroid phantom uniformly loaded with Iodine-131 within a non-loaded neck phantom.

7.7 Maximum measurable activity

For the reference nuclide, the maximum measurable activity specified by the manufacturer shall be such that any error due to dead time in the counting system would not introduce an error in the measurement of greater than 10 %.

7.8 Warm-up time

The warm-up time shall be defined by the manufacturer.

7.9 Measurement time

To achieve the range of measurement specified in 7.2 above, the measurement shall not exceed 30 min for types 1 and 2 and 5 min for types 3 and 4. This does not exclude the ability to measure for longer periods.

³ At the time of publication of this document, no ISO document exists.

8 Exigences de performances et procédures d'essai pour la mesure des émetteurs de basse énergie

8.1 Procédures générales d'essai

8.1.1 Nature des essais

Tous les essais mentionnés dans ce document sont considérés comme des essais de type à l'exception des essais individuels de série décrits en 8.4.2.2.b), bien que, suite à un accord entre le fabricant et l'acheteur, certains essais, ou tous les essais puissent être considérés comme des essais de réception. Les exigences mentionnées sont des exigences minimales et peuvent être étendues à tout instrument ou fonction spécifique.

Beaucoup de procédures d'essai sont identiques à celles des spectromètres gamma (voir la CEI 61276).

Les conditions normales d'essai et de référence sont définies dans le Tableau 1.

8.1.2 Essais effectués dans des conditions normales d'essai

Les essais effectués dans des conditions normales d'essais sont répertoriés dans les Tableaux 2, 3 et 4 qui indiquent, pour chaque caractéristique, les limites de variation et le paragraphe décrivant la méthode d'essai correspondante.

8.1.3 Essais effectués avec une variation des grandeurs d'influence

Ces essais visent à déterminer les effets d'une variation des grandeurs d'influence; ils sont indiqués dans les Tableaux 2 et 3 avec la plage de variation de chaque grandeur d'influence, et les limites de la méthode d'essai correspondante sont décrites.

La plage de variation des grandeurs d'influence indiquées dans les Tableaux 2 et 3 définit une plage de fonctionnement nominale à l'intérieur de laquelle la variation de la mesure doit rester dans les limites établies par le fabricant; ces limites ne doivent en aucun cas dépasser celles données dans les Tableaux 2 et 3.

Afin de tester l'effet de la variation dans l'une des grandeurs d'influence essayée dans les Tableaux 2 et 3, toutes les autres grandeurs doivent être maintenues dans les limites des conditions normales d'essai données dans le Tableau 1, sauf avis contraire spécifié dans la procédure d'essai concernée.

Afin de simplifier ces essais pour chaque grandeur d'influence individuelle, seul l'essai individuel de série concernant l'erreur intrinsèque a besoin d'être conduit, en recourant au minimum à trois lectures à approximativement la moitié de l'échelle totale de la plage d'énergie.

Les autres aspects des performances de l'instrument ne nécessitent des essais en faisant varier les grandeurs d'influence que dans le cas où l'on considérerait que l'essai individuel de série spécifié ne fournira pas une mesure représentative.

8.2 Fluctuations Statistiques

Pour tout essai impliquant l'utilisation d'un rayonnement, si la grandeur des fluctuations statistiques émanant de la nature aléatoire du rayonnement en cours de détection constitue une fraction importante de la variation de la mesure admise dans les essais, alors, un nombre suffisant de lectures doit être effectué pour s'assurer que la valeur moyenne de ces lectures peut être évaluée avec suffisamment de précision pour démontrer la conformité à l'essai en question (voir Annexe A).

8 Performance requirements and test procedures for low-energy emitter measurements

8.1 General test procedures

8.1.1 Nature of tests

All tests in this document are regarded as type tests except those routine tests described in 8.4.2.2b), although any or all of the tests may be considered as acceptance tests by agreement between the manufacturer and the purchaser. The stated requirements are minimum requirements and may be extended for any particular instrument or function.

Many of the test procedures are similar to those of gamma spectrometers (see IEC 61276).

Reference and standard test conditions are defined in Table 1.

8.1.2 Tests performed under standard test conditions

Tests which are performed under standard test conditions are listed in Tables 2, 3 and 4 which indicate for each characteristic, the limits of variation and the subclause where the corresponding test method is described.

8.1.3 Tests performed with variation of influence quantities

These tests are intended to determine the effects of variation in influence quantities and are given in Tables 2 and 3 with the range of variation of each influence quantity, and the limits of corresponding test method described.

The range of variation of influence quantities indicated in Tables 2 and 3 defines a nominal operating range within which the variation in measurement shall remain within the limits stated by the manufacturer; these limits shall in no case exceed those laid down in Tables 2 and 3.

In order to test the effect of variation in any one of the influence quantities tested in Tables 2 and 3, all other quantities shall be maintained within the limits for the standard test conditions given in Table 1, unless otherwise specified in the test procedure concerned.

In order to simplify these tests for each individual influence quantity, only the routine test concerning the intrinsic error need be performed, using not less than three readings at approximately half full scale on a range.

Other aspects of the performance of the instrument need to be tested with variation of influence quantities only if it is considered that the routine test specified will not give a representative measurement.

8.2 Statistical fluctuations

For any test involving the use of radiation, if the magnitude of the statistical fluctuations arising from the random nature of the radiation being detected is a significant fraction of the variation of the measurement permitted in the tests, then sufficient readings shall be taken to ensure that the mean value of such readings may be estimated with sufficient precision to demonstrate compliance with the test in question (see Annex A).

8.3 Fantômes de référence et sources

8.3.1 Généralités

Les fantômes radioactifs de référence et les sources nécessaires pour la détermination des performances et les essais des instruments peuvent être les suivants:

- fantômes primaires requis pour l'étalonnage de base (voir 8.3.2);
- fantômes secondaires ou sources pouvant être utilisés complémentirement dans le cadre d'essais individuels de série ou d'autres essais spécifiques. Le fantôme secondaire peut ne pas être physiquement identique au fantôme primaire.

La valeur de l'activité conventionnellement vraie des fantômes ou des sources doit être connue avec une incertitude n'excédant pas 10 % ($k = 2$) et la valeur relative des activités du fantôme ou de la source, utilisés dans les mêmes essais, doit être connue avec une incertitude n'excédant pas 5 % ($k = 2$). Le cas échéant, la correction de la décroissance radioactive de la source doit être effectuée.

8.3.2 Fantômes primaires

Les fantômes primaires sont des fantômes simulant des organes chargés avec un nucléide radioactif et se trouvant à l'intérieur d'un fantôme simulant un corps humain non chargé. Le fantôme simulant un organe doit être uniformément rempli avec le nucléide radioactif Américium-241 sauf s'il en a été convenu autrement entre le fabricant et l'acheteur. Les fantômes primaires doivent simuler les organes. Par ailleurs, il est possible de recourir à des radionucléides plus appropriés afin de déterminer, par exemple, les niveaux de Plutonium-239 ou les nucléides d'uranium présents dans les poumons.

8.3.3 Les fantômes secondaires (sources radioactives)

Le radionucléide utilisé dans un fantôme secondaire doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fabricant.

Les fantômes secondaires doivent être étalonnés par rapport aux fantômes primaires dans des conditions similaires.

8.3.4 Fantômes «bruit de fond»

Pendant les mesures, des fantômes «bruit de fond» (sans matières radioactives) doivent être utilisés afin de contrôler la réponse du système de mesure in vivo au bruit de fond. Ces fantômes doivent être identiques aux fantômes utilisés pour mesurer les performances à ceci près qu'ils ne renferment pas de matières radioactives.

8.4 Caractéristiques de mesure du rayonnement

8.4.1 Erreur relative intrinsèque

8.4.1.1 Exigences

L'erreur relative intrinsèque définie en 3.10 doit être inférieure à $\pm(25 + F_{SA})$ % pour les systèmes de type 1, et $\pm(30 + F_{SA})$ % pour les systèmes de type 2, de la réponse donnée par le fabricant; où F_{SA} constitue l'incertitude en pourcentages de l'activité conventionnellement vraie du fantôme d'essai.

8.4.1.2 Méthode d'essai

Le fantôme primaire défini en 8.3.2 avec le radionucléide de référence et le fantôme bruit de fond équivalent doivent, chacun leur tour, être placés dans leur position spécifique par rapport aux détecteurs tel que cela est défini par le fabricant et les lectures effectuées.

8.3 Reference phantom and sources

8.3.1 General

Radioactive reference phantoms and sources, which are necessary for performance determination and testing of the instruments, may be the following:

- primary phantoms required for basic calibration (see 8.3.2);
- secondary phantoms or sources which can be used additionally for routine or other specific tests. The secondary phantom may not be identical in physical form to the primary phantom.

The value of the conventionally true activity of phantoms or sources shall be known with an uncertainty of not more than 10 % ($k = 2$) and the relative value of phantom or source activities used in the same tests should be known with an uncertainty of not more than 5 % ($k = 2$). If necessary, correction for radioactive decay of the source shall be made.

8.3.2 Primary phantoms

The primary phantoms consist of an organ phantom loaded with the radioactive nuclide within a non-loaded whole body phantom. The organ phantom shall be uniformly filled with the radioactive nuclide Americium-241 unless otherwise agreed between the manufacturer and purchaser. Primary phantoms shall simulate the organs. Alternatively, more applicable radionuclides may be used, for example, to determine the levels of Plutonium-239 or uranium nuclides in the lungs.

8.3.3 Secondary phantoms (radioactive sources)

The radionuclide used in a secondary phantom shall be agreed between the purchaser and manufacturer.

Secondary phantoms shall be calibrated in relation to primary phantoms under similar conditions.

8.3.4 Background phantoms

During measurements “background” phantoms (without radioactive materials) shall be used to check background response of the in vivo counter. These phantoms shall be identical to the phantoms used for performance measurements but without radioactive materials.

8.4 Radiation characteristics

8.4.1 Relative intrinsic error

8.4.1.1 Requirements

The relative intrinsic error of the sensitivity as defined in 3.10 shall be within $\pm(25 + F_{SA})$ % for type 1 monitors and $\pm(30 + F_{SA})$ % for type 2 monitors of the response given by the manufacturer; where F_{SA} is the uncertainty in per cent of the conventionally true activity of the test phantom.

8.4.1.2 Method of test

The primary phantom as defined in 8.3.2 with the reference radionuclide and the equivalent background phantom shall in turn be located at their defined position relative to the detectors, as defined by the manufacturer, and readings taken.

L'activité du fantôme primaire doit se situer dans les $\pm 20 \%$ de l'activité spécifiée par le fabricant.

8.4.2 Linéarité (en relation avec l'activité)

8.4.2.1 Exigences

Les essais suivants doivent être effectués dans des conditions normales d'essai avec les commandes d'étalonnage réglées selon les consignes du fabricant:

8.4.2.1.1 Essais de types

Un essai doit être réalisé à 20 % et 80 % de la décade la plus basse et la plus élevée du domaine d'énergie en utilisant des fantômes, fantômes secondaires, sources ou essais électroniques équivalents ainsi qu'à 40 % des domaines ou décades intermédiaires (la méthode de comparaison de l'activité réelle du fantôme secondaire et des sources est donnée en 8.4.2.2 ci-dessous).

8.4.2.1.2 Essais individuels de série

Les essais de fantômes ou les essais de source doivent être effectués en un point au moins. Les essais de fantôme, de source ou les essais électroniques équivalents doivent être effectués en un point à environ 50 % de chaque décade du domaine de mesure de l'équipement.

8.4.2.2 Méthode d'essai

a) Essais avec fantôme primaire

Il convient que les fantômes primaires, simulant un rayonnement gamma du radionucléide présent dans un corps, et le fantôme «bruit de fond», soient placés dans leur position spécifique par rapport au ou aux détecteurs tel que cela a été défini par le fabricant.

De plus, pendant l'essai de type, quand des fantômes secondaires ou des sources sont utilisés pour les essais suivants, placer le fantôme secondaire approprié ou la source dans sa position spécifique par rapport au détecteur et établir les réponses relatives des fantômes secondaires ou des sources par rapport aux fantômes primaires. Le fantôme approprié ou la source utilisés pour déterminer la réponse relative doivent avoir une activité telle que la réponse correspondante soit dans les $\pm 20 \%$ de la réponse donnée par un fantôme primaire.

b) Essais électroniques

L'équipement de mesure seul peut être essayé en injectant un signal électronique approprié à l'entrée normale du détecteur.

8.4.2.3 Expression des résultats

Les exigences de 8.4.1.1 peuvent être tenues pour satisfaites si:

- a) la différence entre deux quelconques des valeurs observées de F , l'erreur relative intrinsèque, ne dépasse pas $(2F_1 + F_{SR})$;
- b) aucune valeur unique observée de F ne dépasse $(F_1 + F_{SA})$

où

F_1 est la limite autorisée de l'erreur de mesure exprimée en pour-cent, donnée dans les tableaux 2 ou le tableau 3;

F_{SA} est l'incertitude de l'activité conventionnellement vraie du fantôme d'essai (confiance de 95 %);

F_{SR} est l'incertitude relative de l'activité du fantôme d'essai par rapport aux autres sources ou fantômes dans l'appareil d'essai, exprimée en pour-cent (confiance de 95 %).

The nominal activity of the primary phantom shall be between $\pm 20\%$ of the activity specified by the manufacturer.

8.4.2 Linearity (in relation to activity)

8.4.2.1 Requirements

Under standard test conditions with the calibration controls adjusted according to the manufacturer's instructions, the following tests shall be carried out.

8.4.2.1.1 Type tests

A test using phantoms, secondary phantoms, sources or equivalent electronic tests shall be carried out at 20 % and 80 % of the highest and lowest decade of the energy range of the equipment and at 40 % of the intermediate ranges or decades. (The method of comparison of the effective activities of the secondary phantoms and the sources is given in 8.4.2.2 below.)

8.4.2.1.2 Routine tests

Phantom tests or source tests shall be performed at least at one point. Phantom, source or equivalent electronic tests shall be performed at one point at about 50 % of each decade of the range of the equipment.

8.4.2.2 Method of test

a) Primary phantom tests

The primary phantoms simulating gamma-radiation of the radionuclide from the body and the "background" phantom should be located at their defined position relative to the detector(s) as defined by the manufacturer.

In addition, during type testing, where secondary phantoms or sources are to be used for subsequent tests, locate the appropriate secondary phantom or source at its defined position relative to the detector and establish the relative responses due to the secondary phantoms or sources due to the primary phantoms. The appropriate phantom or source used for the determination of relative response shall be of an activity such that it gives an indication within $\pm 20\%$ of the indication given by a primary phantom.

b) Electronic tests

The measuring assembly alone may be tested by injection of an appropriate electronic signal at the normal detector input.

8.4.2.3 Expression of results

The requirements of 8.4.1.1 may be considered to be met if

- a) the difference between any of the observed values of F , the relative intrinsic error does not exceed $(2F_1 + F_{SR})$;
- b) no single observed value of F exceeds $(F_1 + F_{SA})$

where

F_1 is the required limit of permissible error of measurement in per cent given in Table 2, or in Table 3;

F_{SA} is the uncertainty of the conventionally true activity of the test phantom (95 % confidence);

F_{SR} is the relative uncertainty of the activity of the test phantom to other sources or phantoms in the test set in per cent (95 % confidence).

8.4.3 Détermination de la gamme d'énergie

8.4.3.1 Exigences

La détermination de la gamme d'énergie du rayonnement gamma enregistrée par un instrument est basée sur la détermination expérimentale des centroïdes du pic d'absorption totale des raies gamma mono-énergétiques des radionucléides émetteurs gamma Américium-241, Cobalt-57 et Uranium-235. En réglant le gain de l'amplificateur, une gamme d'énergie est sélectionnée pour que 80 % à 90 % des canaux disponibles de l'analyseur multicanal soient utilisés. Chaque source est laissée en place pour qu'au moins 2×10^3 coups soient accumulés. Le taux de comptage moyen pendant la mesure ne doit pas dépasser 10^3 s^{-1} .

8.4.3.2 Résultats de la mesure

La gamme d'énergie du rayonnement gamma enregistré est déterminée à partir de l'approximation de la droite de conversion caractéristique de l'instrument (voir 8.4.4).

La gamme d'énergie du rayonnement gamma enregistrable doit être telle que requis par 6.1.

8.4.4 Détermination de l'erreur de non-linéarité intégrale (NLI)

8.4.4.1 Méthode d'essai

L'erreur de la NLI (caractéristique de conversion) est également déterminée sur la base de la détermination expérimentale de la position du centroïde du pic d'absorption totale des raies gamma. La mesure doit être effectuée avec les radionucléides émetteurs gamma conformément à 8.4.3.1. En guise de résultat, un nombre de positions n_{i0} du centroïde du pic correspondant à l'énergie du photon $E_{\gamma i}$ est obtenu.

8.4.4.2 Détermination de la NLI

La NLI est déterminée pour chaque ensemble de détection de la façon suivante. La pente de conversion caractéristique peut être donnée en première approximation par la droite:

$$N = \tilde{a} + \tilde{B} \times E_{\gamma}$$

où

$\tilde{a}$ est l'énergie associée à la voie 0 de l'analyseur d'amplitude;

$\tilde{B} = 1/k$ où k est la largeur en énergie du canal de l'analyseur multicanal sur l'échelle d'énergie sélectionnée de l'instrument.

Pour chacune des positions n_{i0} du pic du centroïde correspondant à l'énergie $E_{\gamma i}$, l'écart $\Delta E_{\gamma i}$ est calculé par rapport la droite de conversion caractéristique.

La NLI est calculée à partir de la formule

$$\eta(\%) = \frac{\Delta E_{\gamma \text{imax}}}{E_{\gamma \text{max}}} 100$$

où

$\Delta E_{\gamma \text{imax}}$ représente le maximum des valeurs absolues de $\Delta E_{\gamma i}$;

$E_{\gamma \text{max}}$ est l'amplitude maximale du signal mesuré.

8.4.3 Energy range determination

8.4.3.1 Requirements

Determination of the gamma-radiation energy range registered by an instrument is based on the experimental finding of the full energy peak centroid of mono-energetic gamma-lines of Americium-241, Cobalt-57, and Uranium-235 gamma-emitting radionuclides. Adjusting the gain of the amplifier, an energy range is chosen so that 80 % to 90 % of the available channels of the multi-channel analyser are used. Each source is left in place so that at least 2×10^3 counts are accumulated. The mean count rate during the measurement shall not be more than 10^3 s^{-1} .

8.4.3.2 Measurement results

The energy range of registered gamma radiation is determined from the straight-line approximation of the conversion characteristic of the instrument (see 8.4.4).

The energy range of gamma-radiation which is able to be registered shall be as required by 6.1.

8.4.4 Determination of the integral non-linearity (INL) error

8.4.4.1 Method of test

The INL (conversion characteristic) error is also determined on the basis of experimental determination of the full-energy peak centroid position of the gamma-lines. The measurement shall be performed with the gamma-emitting radionuclides in accordance with 8.4.3.1. As a result, a number of peak centroid positions n_{i0} corresponding to photon energy $E_{\gamma i}$ are obtained.

8.4.4.2 INL determination

The INL is determined for each detector assembly in the following way. The conversion characteristic is approximated with the straight line

$$N = \tilde{a} + \tilde{B} \times E_{\gamma}$$

where

$\tilde{a}$ is the energy associated with channel 0 of the pulse height analyser;

$\tilde{B} = 1/k$ where k is the energy channel width of the multi-channel analyser on the chosen energy scale of the instrument.

For each of the centroid peak positions n_{i0} corresponding to the energy $E_{\gamma i}$ the deviation $\Delta E_{\gamma i}$ from the straight-line approximation of the conversion characteristic is calculated.

The INL is calculated from the formula

$$\eta(\%) = \frac{\Delta E_{\gamma \text{imax}}}{E_{\gamma \text{max}}} 100$$

where

$\Delta E_{\gamma \text{imax}}$ is the maximum of the absolute values of $\Delta E_{\gamma i}$;

$E_{\gamma \text{max}}$ is the maximum measured signal pulse height.

8.4.4.3 Exigences

La valeur obtenue pour la NLI ci-dessus ne doit pas dépasser les valeurs indiquées en 6.5.

8.4.5 Détermination du rendement pour la raie gamma 59,54 keV de l'Américium-241

8.4.5.1 Méthode d'essai

Un fantôme contenant de l'Américium-241 dans une géométrie connue est placé, par rapport aux détecteurs, dans la position définie par le fabricant. L'activité de la source doit donner un taux de comptage correspondant à au moins deux fois celui donné par le bruit de fond. Le spectre d'émission gamma est alors enregistré. La mesure doit être répétée pendant le même temps de mesure T_m avec un fantôme inactif (bruit de fond).

Le taux de comptage C dans le pic d'absorption pleine énergie est déterminé à partir de la formule:

$$C = \frac{\sum_{i=n}^m C_i}{T_m}$$

où

i est le nombre de canaux;

C_i correspond au nombre de coups dans le canal i ;

n est le nombre de canaux au point le plus bas du pic d'énergie d'absorption totale;

m est le nombre de canaux au point le plus haut du pic d'énergie d'absorption totale;

T_m est le temps de mesure.

Le taux de comptage du bruit de fond B dans la zone correspondant au pic d'énergie d'absorption totale est déterminé à partir de:

$$B = \frac{\sum_{i=n}^m B_i}{T_m}$$

où

B_i correspond au nombre de coups dans le canal i ;

et tous les autres termes ayant les valeurs numériques exactes données ci-dessus.

8.4.5.2 Détermination du rendement

Le rendement ε est déterminé à partir de la formule:

$$\varepsilon = \frac{\overline{C} - B}{A_0 \Im \exp \left(- \frac{0,693}{T_{0,5}} t \right)}$$

où

$\overline{C}$ est la valeur moyenne des cinq valeurs de C obtenues ci-dessus;

$\Im$ est l'intensité de la raie 59,54 keV résultant de la décroissance de l'Américium-241;

$T_{0,5}$ est la demi-vie de l'Américium-241 (432,2 années);

t est le temps écoulé en années à partir de l'étalonnage de la source;

A_0 est l'activité de la source en becquerels au moment de son étalonnage.

8.4.4.3 Requirements

The value obtained for the INL above shall not exceed the values stated in 6.5.

8.4.5 Determination of the efficiency to Americium-241 59,54 keV gamma

8.4.5.1 Method of test

A phantom containing Americium-241 in a known geometry is placed in the position relative to the detectors as defined by the manufacturer. The activity of the source shall be such as to give a count-rate of at least twice that given by the background. Then the gamma ray spectrum is registered. The measurement shall be repeated for the same measurement time T_m with an inactive (background) phantom.

The count rate C in the full-energy absorption peak is determined from the formula:

$$C = \frac{\sum_{i=n}^m C_i}{T_m}$$

where

i is the channel number;

C_i is the counts in channel i ;

n is the channel number at the lowest point of the full-energy absorption peak;

m is the channel number at the highest point of the full-energy absorption peak;

T_m is the measurement time.

The background count rate B in the equivalent of the full-energy absorption peak is determined from

$$B = \frac{\sum_{i=n}^m B_i}{T_m}$$

where

B_i is the counts in channel i ;

and all other terms have the same definition as given above.

8.4.5.2 Determination of efficiency

The efficiency ε is determined by the formula

$$\varepsilon = \frac{\overline{C} - B}{A_0 \Im \exp \left(- \frac{0,693}{T_{0,5}} t \right)}$$

where

$\overline{C}$ is the mean of the values of C obtained above;

$\Im$ is the abundance of 59,54 keV resulting from the decay of Americium-241;

$T_{0,5}$ is the half-life of Americium-241 (432,2 years);

t is the time passed from the calibration of the source in years;

A_0 is the activity of the source in becquerels at the time of its calibration.

8.4.5.3 Résultats de la mesure

Le fabricant doit indiquer le facteur d'étalonnage (l'inverse de l'efficacité) pour la raie 59,54 keV de l'Américium-241 en termes de taux de comptage par activité d'unité.

8.4.6 Bruit de fond

8.4.6.1 Méthode de mesure

La méthode est la même que celle décrite en 8.4.5 ci-dessus à ceci près que trois mesures doivent être effectuées sur une période de plus de 10 min. Il convient que cela soit déterminé dans un environnement connu inférieur à $0,25 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$.

8.4.6.2 Méthode de mesure du bruit de fond

La moyenne des taux de comptage dans les gammes d'énergie spécifiées est calculée par référence à la formule donnée en 8.4.5.1.

8.4.6.3 Résultats de la mesure

La valeur des taux de comptage du bruit de fond trouvée en 8.4.6.2 ne doit pas dépasser la valeur équivalente spécifiée par le fabricant.

8.4.7 Détermination de l'activité minimale détectable

8.4.7.1 Méthode de détermination

Les valeurs des limites de détection des radionucléides incorporés sont déterminées au moyen d'un calcul basé sur les résultats obtenus dans les essais précédents (8.4.5 à 8.4.6) et de la formule de 5.6.

Afin de se conformer aux exigences de la présente norme, il convient que l'activité minimale détectable soit déterminée en utilisant le seuil de décision donné en 5.6 et non la limite de détection donnée dans l'ISO 11929-4.

Le quantile $k_{1-\alpha}$ doit être donné avec la valeur 2,326 à des fins de comparaison des équipements; cela conduit à un risque d'indication erronée de 1 % et à un risque de non-détection de 50 %.

L'utilisateur peut utiliser d'autres valeurs pour les quantiles $k_{1-\alpha}$ et $k_{1-\beta}$ pour différentes probabilités de détection et d'indication erronée.

8.4.7.2 Résultats de la mesure

Les activités minimales détectables doivent être spécifiées par le fabricant pour des conditions de bruit de fond données.

8.4.8 Détermination du taux de comptage maximale

8.4.8.1 Exigences

Les exigences requièrent que le taux de comptage maximal soit tel que tout temps mort ne puisse pas induire plus de 10 % de réduction dans le taux de comptage mesuré à partir du taux de comptage vrai.

Pour que cela soit vrai, le comptage maximal

$$C_{\max} = \frac{0,1}{1,1\mu}$$

8.4.5.3 Measurement results

The manufacturer shall state the calibration factor (reciprocal of the efficiency) for the 59,54 keV line of Americium-241 in terms of count-rate per unit activity.

8.4.6 Background

8.4.6.1 Measurement method

The method is as described in 8.4.5 above except that three measurements over a period of more than 10 min shall be taken. This should be determined in a known environment of less than $0,25 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$.

8.4.6.2 Background measurement method

The mean of the count rates in the energy ranges specified are calculated by reference to the formula given in 8.4.5.1.

8.4.6.3 Measurement results

The value of background count rates found in 8.4.6.2 above shall not exceed the equivalent value specified by the manufacturer.

8.4.7 Determination of minimum detectable activity

8.4.7.1 Determination method

The minimum detection limit values of incorporated radionuclides are determined by means of calculation based on the results achieved in the previous tests (8.4.5 to 8.4.6) and the formula given in 5.6.

In order to conform with the requirements of this standard, the minimum detectable activity should be determined using the lower limit of decision as given in 5.6 and not the lower limit of detection as given in ISO 11929-4.

The quantile $k_{1-\alpha}$ shall be given the value of 2,326 for the purposes of intercomparison of equipment; this gives a risk of false indication of 1 % and a risk of non-detection of 50 %.

The user may use other values for the quantiles $k_{1-\alpha}$ and $k_{1-\beta}$ for different probabilities of detection and false indication.

8.4.7.2 Measurement results

The minimum detectable activities shall be specified by the manufacturer under specified background conditions.

8.4.8 Determination of the maximum count rate

8.4.8.1 Requirements

The requirements are that the maximum count rate is such that any dead time should cause less than 10 % reduction in measured count rate from true count rate.

For this to be true maximum count

$$C_{\max} = \frac{0,1}{1,1\mu}$$

ou
$$0,0909 \times \frac{1}{\mu}$$

où μ est le temps mort total.

8.4.8.2 Méthode d'essai

Le taux de comptage maximal des détecteurs est déterminé à partir du temps mort total de l'équipement.

Pour cela, deux sources du radionucléide d'intérêt dont l'activité de chacune représente environ 10 %, mais pas plus, de la plage maximale de l'équipement, sont nécessaires.

Tout d'abord, mesurer les coups du bruit de fond dans la bande d'énergie adéquate donnée en 8.4.6. Ce taux de comptage est appelé B .

Ensuite, placer l'une des sources dans la position de mesure et effectuer un comptage. Ce taux de comptage est appelé C_1 .

Placer enfin l'autre source dans la position de mesure de sorte qu'elle n'ait pas d'effet sur la détection du rayonnement provenant de la première source et qu'elle ne perturbe en aucune manière celle-ci. Ce taux de comptage total est appelé C_{12} .

Retirer la première source et effectuer un autre comptage du taux C_2 .

La durée du comptage doit permettre de donner au moins 10^5 coups provenant des sources et 10^4 provenant du bruit de fond (sauf si cette durée dépasse 3 000 s).

Lorsqu'elles ne sont pas utilisées, les sources doivent être stockées afin de ne pas avoir une influence sur l'équipement.

Calculer
$$\frac{C_1 + C_2 - C_{12} - B}{C_{12}^2 + B^2 - (C_1^2 + C_2^2)}$$
 le temps mort total μ en secondes

où C_1 , C_2 , C_{12} et B sont exprimés en s^{-1} .

8.4.9 Détermination de la stabilité

8.4.9.1 Exigence

L'instrument est considéré comme ayant réussi l'essai si, pendant un fonctionnement continu de 24 h, l'instabilité maximale de la position du centroïde à partir de la moyenne ne dépasse pas ± 2 % pour les instruments avec détecteurs à scintillation ou ± 1 % pour les instruments avec détecteurs à semi-conducteurs dans des conditions normales d'essai.

8.4.9.2 Méthode d'essai

La stabilité est déterminée à partir des données des spectres obtenues pour les raies gamma monoénergétiques de l'Américium-241 (59,54 keV) et du Cobalt-57 (122,1 keV). Plusieurs mesures séquentielles sont effectuées pendant le fonctionnement ininterrompu de l'instrument.

Mettre l'appareil sous tension et le laisser préchauffer pendant le laps de temps spécifié par le fabricant.

Appliquer les sources à côté de la fenêtre d'entrée du détecteur et faire l'acquisition d'un spectre en comptant assez longtemps pour obtenir au moins 10^4 coups dans chaque pic.

or

$$0,0909 \times \frac{1}{\mu}$$

where μ is the overall dead time.

8.4.8.2 Method of test

The maximum input count rate from the detectors is determined from the overall dead time of the equipment.

For this, two sources of the radionuclide of interest, each of activity equivalent to about but no more than 10 %, of the maximum range of the equipment are required.

First, measure the background counts in the relevant energy band as given in 8.4.6. Let the count rate be B .

Next, place one of the sources in the measuring position and take a count. This count rate is C_1 .

Next, place the other source in the measuring position in such a position as not to affect the detection of radiation from the first source in any way and in no way disturbing that source. This total count rate is C_{12} .

Remove the first source and take a further count of rate C_2 .

The time of counting shall be such as to give at least 10^5 counts from the sources and 10^4 from background (unless this exceeds 3 000 s).

When not in use, the sources shall be stored so that they have no influence on the equipment.

Calculate $\frac{C_1 + C_2 - C_{12} - B}{C_{12}^2 + B^2 - (C_1^2 + C_2^2)}$ the overall dead time μ in seconds

where C_1 , C_2 , C_{12} and B are expressed in s^{-1} .

8.4.9 Determination of stability

8.4.9.1 Requirement

The instrument is considered to have passed the test if, during the 24 h continuous operation, the maximum instability of the centroid position from the mean does not exceed ± 2 % for instruments with scintillation detectors or ± 1 % for instruments with semi-conductor detectors under standard test conditions.

8.4.9.2 Method of test

The stability is determined from the spectra data obtained from the mono-energetic gamma lines of Americium-241 (59,54 keV) and Cobalt-57 (122,1 keV). Several sequential measurements are performed during uninterrupted operation of the instrument.

Switch the device on and allow it to warm up for the manufacturer's specified warm-up period.

Affix the sources adjacent to the entrance window of the detector and acquire a spectrum, counting long enough to accumulate at least 10^4 counts in each peak. For both peaks, record

Pour les deux pics, enregistrer les coups dans chacune des voies qui affichent le pic d'énergie d'absorption totale. Calculer le centroïde du pic en utilisant la formule suivante.

$$X = \frac{\sum_{i=n}^m i \times C_i}{\sum_{i=n}^m C_i}$$

où

n est le numéro de canal le plus bas pour le pic d'énergie d'absorption totale;

m est le numéro de canal le plus haut pour le pic d'énergie d'absorption totale;

C_i est le nombre de coups collectés dans le $i^{\text{ème}}$ canal.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^j X_i}{j}$$

où j est le nombre de points de donnée pour X .

Calculer l'écart type pour les deux centroïdes, $S1$ et $S2$, en utilisant la formule:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^j (X_i - \bar{X})^2}{j - 1}}$$

Le plus grand des deux centroïdes $S1$ et $S2$ est utilisé pour calculer l'instabilité de l'instrument, F , exprimé en pourcentages.

$$F = \frac{\sigma K}{E_2} \times 100$$

où

σ est la déviation standard;

K est la largeur d'un canal en unités d'énergie, keV;

E_2 est l'énergie du pic le plus intense (122,1 keV pour le Co-57).

8.4.10 Mesure de la résolution en énergie

8.4.10.1 Méthode de détermination

La méthode de détermination de la résolution en énergie est la suivante:

La source est retirée et le spectre du bruit de fond obtenu est soustrait du spectre précédent. La position du centroïde du pic correspondant à la raie gamma $E_{\gamma 1} = 122,1$ keV et $E_{\gamma 2} = 136$ keV du Cobalt-57 est déterminée selon la méthode décrite en 8.4.4.

Pour un instrument utilisant un détecteur à scintillation ou au Germanium, les sources des radionucléides Américium-241 et Cobalt-57 sont utilisées et placées dans l'ordre dans le support situé devant la fenêtre d'entrée du détecteur ou du collimateur.

the counts in each of the channels that display the full-energy absorption peak. Compute the centroid of the peak using the following formula:

$$X = \frac{\sum_{i=n}^m i \times C_i}{\sum_{i=n}^m C_i}$$

where

n is the lowest channel number for the full energy absorption peak;

m is the highest channel number for the full energy absorption peak;

C_i is the number of counts collected in the i^{th} channel.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^j X_i}{j}$$

where j is the number of data points for X .

Compute the standard deviation for the two centroids, S_1 and S_2 , using the formula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^j (X_i - \bar{X})^2}{j - 1}}$$

The larger of S_1 and S_2 is used to compute the instability of the instrument, F , expressed as a percentage.

$$F = \frac{\sigma K}{E_2} \times 100$$

where

σ is the standard deviation;

K is the width of a single channel in energy units, keV;

E_2 is the peak energy of the upper peak (122,1 keV for Co-57).

8.4.10 Energy resolution measurement

8.4.10.1 Determination method

The method of determination of the energy resolution is as follows.

The source is removed and the background spectrum obtained is subtracted from the spectrum taken with the source. The peak centroid position corresponding to gamma-line $E_{\gamma 1} = 122,1$ keV and $E_{\gamma 2} = 136$ keV of Cobalt-57 are determined according to the method described in 8.4.4.

For an instrument with either a germanium or scintillation detector, Americium-241 and Cobalt-57 radionuclide sources are used and placed in sequence in the holder in front of the detector entrance window or collimator.

En réglant le gain de l'amplificateur de l'analyseur, un spectre est obtenu de telle sorte que la largeur totale à mi-hauteur du pic d'énergie d'absorption totale de la raie d'énergie gamma $E_{\gamma 1} = 59,54$ keV représente au moins 10 canaux. Il doit y avoir au moins 10^4 coups accumulés dans le pic.

La source est retirée et le spectre du bruit de fond obtenu est soustrait du spectre de la source.

Ensuite, une source de Cobalt-57 est placée dans le support et le spectre est obtenu pour la raie d'énergie gamma $E_{\gamma 2} = 122,1$ keV. Les positions du centroïde du pic correspondant aux raies gamma des sources d'Américium-241 et de Cobalt-57 sont déterminées selon 8.4.4.

8.4.10.2 Exigence

La résolution en énergie ne doit pas dépasser les valeurs spécifiées en 6.4.

8.4.10.3 Détermination de la résolution en énergie

Connaissant la position des centroïdes du pic gamma pour les deux sources, la largeur de canaux de l'analyseur exprimée en unités d'énergie est déterminée comme suit:

$$K = \frac{E_{\gamma 1} - E_{\gamma 2}}{n_1 - n_2}$$

où

$E_{\gamma 1} = 59,54$ keV, pour le radionucléide Am-241 et $E_{\gamma 2} = 122,1$ keV pour le radionucléide Co-57;

n_1 et n_2 sont les valeurs des canaux correspondant aux centroïdes du pic.

La largeur totale à mi-hauteur des pics d'énergie d'absorption totale $\Delta\eta$ des raies gamma de l'Américium-241 et du Cobalt-57 est déterminée graphiquement ou par le biais d'un logiciel.

La résolution en énergie absolue (keV) est calculée avec la formule:

$$\varepsilon_R = \Delta\eta \times K$$

La résolution en énergie relative (%) est calculée avec la formule:

$$\varepsilon_{R'} = \frac{\Delta\eta K}{E_1} \times 100$$

8.5 Caractéristiques des performances environnementales

8.5.1 Généralités

Effectuer des essais visant à établir et/ou à vérifier la plage opérationnelle d'un système de mesure in vivo à partir des conditions météorologiques environnementales ambiantes ne s'avère pas nécessaire lorsque l'instrument est utilisé dans un environnement contrôlé.

8.5.2 Compatibilité électromagnétique

8.5.2.1 Immunité aux décharges électrostatiques (DES)

Les critères d'immunité aux décharges électrostatiques sont définis dans la CEI 61000-4-2.

Adjusting the gain of the analyser amplifier, a spectrum is accumulated so that the full width at half maximum of the full-energy absorption peak for the gamma-energy line $E_{\gamma 1} = 59,54$ keV will be at least 10 channels. There shall be at least 10^4 counts accumulated in the peak.

The source is removed and the background spectrum obtained is subtracted from the source spectrum.

Afterwards a Cobalt-57 source is placed in the holder and the spectrum is obtained for the gamma-energy line $E_{\gamma 2} = 122,1$ keV. The peak centroid positions corresponding to the Americium-241 and Cobalt-57 source gamma lines are determined in accordance with 8.4.4.

8.4.10.2 Requirement

The energy resolution shall not exceed the values specified in 6.4.

8.4.10.3 Energy resolution determination

Knowing the position of the gamma peak centroids for both sources, the analyser channel width in energy units is determined as

$$K = \frac{E_{\gamma 1} - E_{\gamma 2}}{n_1 - n_2}$$

where

$E_{\gamma 1} = 59,54$ keV, for Am-241 radionuclide;

$E_{\gamma 2} = 122,1$ keV for Co-57 radionuclide;

n_1 and n_2 are channel numbers corresponding to peak centroids.

The full width half maximum of the full-absorption energy peaks $\Delta\eta$ of Americium-241 and Cobalt-57 gamma-lines is determined graphically or by software means.

The absolute energy resolution (keV) is calculated by the formula:

$$\varepsilon_R = \Delta\eta \times K$$

The relative energy resolution (%) is calculated by the formula:

$$\varepsilon_{R'} = \frac{\Delta\eta K}{E_1} \times 100$$

8.5 Environmental performance characteristics

8.5.1 General

Performing tests to establish and/or verify an in vivo counter operational range based on ambient environmental meteorological conditions is not necessary when the instrument is used in a controlled environment.

8.5.2 Electromagnetic compatibility

8.5.2.1 Immunity to electrostatic discharge (ESD)

Immunity to electrostatic discharge is defined in IEC 61000-4-2.

8.5.2.1.1 Exigences

Les essais permettant d'évaluer l'immunité aux DES doivent utiliser la technique de «la décharge de contact» pour les surfaces conductrices et les plans de couplage, et la technique de «décharge dans l'air» pour les surfaces isolantes. Les points de décharge doivent être fonction de l'accessibilité par l'utilisateur.

8.5.2.1.2 Méthode d'essai

Les essais suivants doivent être effectués, le document de référence peut servir de guide.

- a) Dix décharges par point de décharge avec au minimum 1 s de temps de récupération entre chaque décharge.
- b) L'intensité maximale de chaque décharge est basée sur la technique utilisée: 6 kV pour le contact et 8 kV pour la décharge d'air. Ces niveaux se basent sur les Tableaux 1 et A.1 de la CEI 61000-4-2, niveau 3.
- c) Les mesures d'activité ne doivent pas différer $\pm 10\%$ de la mesure d'activité sans décharge. Aucune alarme ni autres sorties ne doivent être activées lorsque l'équipement est exposé à la décharge.

8.5.2.2 Immunité aux radiofréquences (RF)

Les critères d'immunité aux radiofréquences sont définis dans la CEI 61000-4-3.

Les exigences et les essais concernant l'immunité aux radiofréquences doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur.

8.5.2.3 Immunité aux surtensions transitoires

Les critères d'immunité aux surtensions transitoire sont définis dans la CEI 61000-4-5 et la CEI 61000-4-12.

8.5.2.3.1 Exigences

Les essais doivent se baser sur les exigences de Classe 3 mentionnées dans l'Annexe B de la CEI 61000-4-5 et du niveau 3, Tableau 1, exigences de la CEI 61000-4-12. Il convient que les impulsions soient appliquées aux bornes d'alimentation principale via un circuit de couplage/ découplage, ou un équipement équivalent. Le taux de répétition de doit pas dépasser une par minute.

8.5.2.3.2 Méthode d'essai

Les essais suivants doivent être effectués. (Des directives se trouvent dans la CEI 61000-4-5 et la CEI 61000-4-12).

- a) Dix impulsions doivent être appliquées à l'équipement avec une durée minimum de 1 min entre les surtensions.
- b) Il convient que chaque impulsion comprenne une onde de combinaison (1,2/50 μ s-8/20 μ s) à une intensité de 2 kV.
- c) Il convient que les impulsions de l'onde sinusoïdale amortie n'excèdent pas 2 kV.
- d) Les mesures d'activité ne doivent pas différer $\pm 10\%$ de la mesure d'activité sans impulsion. Il convient que aucune alarme ni autres sorties ne soient activées lorsque l'équipement est exposé à l'impulsion.

8.5.2.4 Immunité aux perturbations conduites

Les critères d'immunité aux perturbations conduites sont définis dans la CEI 61000-4-6.

8.5.2.1.1 Requirements

The tests to evaluate the immunity to ESD shall use the “contact discharge” technique for conductive surfaces and coupling planes and the “air discharge” technique for insulating surfaces. Discharge points shall be based on user accessibility

8.5.2.1.2 Method of test

The following tests shall be performed, guidance can be obtained from the reference document.

- a) Ten discharges per discharge point with a minimum of 1 s recovery time between each discharge.
- b) The maximum intensity of each discharge is based on the technique used: 6 kV for contact and 8 kV for air discharge. These levels are based on Tables 1 and A.1 of IEC 61000-4-2, level 3.
- c) Measured activity shall not differ by more than $\pm 10\%$ from the measured activity without the discharge. No alarms or other outputs shall be activated when the equipment is exposed to the discharge.

8.5.2.2 Radiofrequency immunity (RF)

Radiofrequency immunity is defined in IEC 61000-4-3.

The requirements and tests for radiofrequency immunity shall be by agreement between the manufacturer and purchaser

8.5.2.3 Surge immunity

Surge immunity is defined in IEC 61000-4-5 and IEC 61000-4-12.

8.5.2.3.1 Requirements

The tests shall be based on the Class 3 requirements stated in Annex B of IEC 61000-4-5 and level 3, Table 1, requirements of IEC 61000-4-12. Pulses should be applied to the main supply terminals via a coupling/decoupling network or equivalent equipment. The repetition rate shall not exceed one per minute.

8.5.2.3.2 Method of test

The following tests shall be performed. (Guidance can be found in IEC 61000-4-5 and IEC 61000-4-12).

- a) Ten pulses shall be applied to the equipment with a minimum time between surges of 1 min.
- b) Each pulse should consist of a combination wave (1,2/50 μ s-8/20 μ s) at an intensity of 2 kV.
- c) Ring wave pulses should be not more than 2 kV.
- d) Measured activity shall not differ by more than $\pm 10\%$ from the measured activity without the pulse. No alarms or other outputs should be activated when the equipment is exposed to the pulse.

8.5.2.4 Immunity to conducted disturbances

Immunity to conducted disturbances is defined in IEC 61000-4-6.

8.5.2.4.1 Exigences

L'essai s'applique à l'équipement utilisé en présence de transmetteurs de fréquences radioélectriques dans une plage de fréquences allant de 150 kHz à 80 MHz. Les équipements qui n'ont pas au moins un câble conducteur (alimentation principale, circuit d'acheminement du signal ou connexion à la terre) sont exclus. Le protocole est fondé sur les exigences de classe 3 mentionnées dans l'Annexe C de la CEI 61000-4-6.

8.5.2.4.2 Méthode d'essai

Les essais suivants doivent être effectués . (Des directives se trouvent dans la CEI 61000-4-6).

- a) La plage de fréquences de 150 kHz avec une intensité de 140 dB(mV).
- b) Le signal doit être modulé en amplitude à 80 % avec une onde sinusoïdale de 1 kHz.
- c) Il convient que l'essai soit effectué en utilisant un balayage automatique à un taux n'excédant pas $1,5 \times 10^{-3}$ décades par seconde ou 1 % du fondamental.
- d) Les effets de réponse ne doivent pas dépasser ± 10 % de la réponse sans le champ présent. Aucune alarme ni autres sorties ne doit être activée lorsque l'équipement est exposé au champ.

NOTE Certains niveaux de susceptibilité peuvent être acceptables pour l'acheteur.

8.5.3 Température ambiante

8.5.3.1 Exigences

Si la température ambiante diffère de plus de 5 °C par rapport à la température normale indiquée dans le Tableau 1, il convient de réaliser un contrôle de performance avant utilisation pour s'assurer de la capacité de fonctionnement. Si un essai est requis, les directives données en 8.5.3.2 doivent être appliquées.

Il est considéré que l'équipement a réussi l'essai si, aux températures extrêmes, l'erreur de la réponse n'excède pas:

- ± 5 % dans le cas d'une utilisation d'un détecteur à scintillation;
- $\pm 0,3$ % dans le cas d'une utilisation d'un détecteur germanium.

8.5.3.2 Méthode d'essai

Mettre l'équipement de mesure dans une chambre climatique et le régler pour qu'il fonctionne dans les conditions de référence.

Une source d'Uranium-235 est placée devant le détecteur. Le gain de l'amplificateur est réglé pour la gamme d'énergie requise. Le spectre est enregistré jusqu'à ce que 2×10^3 coups au minimum provenant de la source soient acquis dans le pic photoélectrique de 185,7 keV. Conformément à 8.4.4, les centroïdes du pic correspondant aux énergies 143,7 keV et 185,7 keV sont déterminés. Les paramètres de la droite, approximant la courbe de réponse et de la NLI dans les conditions de référence, sont déterminés (8.4.4).

La température de la chambre est augmentée jusqu'à la limite la plus haute spécifiée (+35 °C) et à un régime n'excédant pas 10 °C par heure; elle est contrôlée à ± 2 °C près. Après un délai de 4 h à cette température, le spectre est enregistré de nouveau. Les positions du centroïde du pic pour les énergies de 143,7 et 185,7 keV sont déterminées, et l'écart de leurs positions $\Delta E_{\gamma i}$ par rapport à celles de la droite dans les conditions de référence est calculé. La valeur maximale de l'écart $\Delta E_{\gamma \max}$ est alors relevée à partir des écarts $\Delta E_{\gamma i}$ obtenus et, conformément à 8.4.10, la valeur de la NLI pour la température maximale de fonctionnement est calculée.

8.5.2.4.1 Requirements

The test applies to equipment used in the presence of RF transmitters in the frequency range of 150 kHz to 80 MHz. Equipment which does not have at least one conducting cable (mains supply, signal line, or earth connection) is excluded. The protocol is based on the Class 3 requirements stated in Annex C of IEC 61000-4-6.

8.5.2.4.2 Method of test

The following tests shall be performed. (Guidance can be obtained from IEC 61000-4-6).

- a) Frequency range of 150 kHz to at an intensity of 140 dB(mV).
- b) The signal shall be 80 % amplitude modulated with a 1 kHz sinewave.
- c) The test should be performed using an automated sweep at a rate not greater than $1,5 \times 10^{-3}$ decades per second or 1 % of the fundamental.
- d) The response effects shall not differ by more than ± 10 % from the response without the field present. No alarms or other outputs shall be activated when the equipment is exposed to the field.

NOTE Some level of susceptibility may be acceptable to the purchaser.

8.5.3 Ambient temperature

8.5.3.1 Requirements

If the ambient temperature differs by more than 5 °C from the standard temperature stated in Table 1, a performance check should be made prior to use to ensure operability. If testing is required it shall be performed in accordance with 8.5.3.2.

It is considered that the equipment passes the test if, at the extreme operating temperatures, the error of the response does not exceed

- ± 5 % in the case of an instrument with a scintillation detector;
- $\pm 0,3$ % for instruments with germanium semi-conductor detectors.

8.5.3.2 Method of test

Place the monitoring equipment in an environmental chamber and set to work under reference conditions.

A Uranium-235 source is placed in front of the detector. The amplifier gain is set for the required energy range. The spectrum is accumulated until at least 2×10^3 counts are accumulated from the source in the 185,7 keV absorption peak. In accordance with 8.4.4, the peak centroids corresponding to energies 143,7 keV and 185,7 keV are determined. The straight-line parameters approximating to the response curve and the INL in the reference conditions are determined (8.4.4).

The temperature in the chamber is increased up to the highest limit specified (+35 °C) at a rate of not more than 10 °C per hour and is controlled to within ± 2 °C. After 4 h at this temperature the spectrum is accumulated once more. The peak centroid positions with energies 143,7 and 185,7 keV are determined and the deviation of their positions $\Delta E_{\gamma i}$ from the straight-line response curve in the reference conditions is calculated. Then the maximum deviation value $\Delta E_{\gamma \max}$ is taken from the deviations $\Delta E_{\gamma i}$ obtained and, in accordance with 8.4.10, the INL value for the maximum operating temperature is calculated.

La température de la chambre est alors diminuée jusqu'à la limite inférieure spécifiée (10 °C) et est conservée à cette valeur avec une précision de ± 2 °C.

Après un délai de 4 h, le spectre de la source du radionucléide Uranium-235 est de nouveau enregistré. Les positions du centroïde sont déterminées et l'écart $\Delta E_{\gamma i}$ par rapport à la droite correspondant à la courbe de réponse dans les conditions de référence est déterminé. La valeur maximale de l'écart $\Delta E_{\gamma \max}$ est alors relevée à partir des écarts $\Delta E_{\gamma i}$ obtenus et la valeur de la NLI pour la température minimale de fonctionnement est calculée.

8.5.4 Humidité relative

8.5.4.1 Exigences

Si les niveaux de l'humidité relative ambiante sont supérieurs aux limites mentionnées dans le Tableau 1, il convient d'effectuer un contrôle de performance avant utilisation afin de s'assurer de la capacité de fonctionnement.

Si un essai est requis, il doit être réalisé conformément à 8.5.4.2.

8.5.4.2 Méthode d'essai

Les essais sont effectués en utilisant une chambre climatique. La chambre doit être stabilisée à 35 °C ($\pm 0,7$ °C) et 40 % d'humidité relative. Un nombre suffisant de lectures doit être obtenu en utilisant les directives précédemment mentionnées afin d'établir une ligne de base préliminaire avant essai.

Le niveau d'humidité relative doit alors être augmenté de façon contrôlée et sur un laps de temps ne dépassant pas 3 h entre 80 % et 90 %. Après un délai de 48 h, on doit refaire un nombre suffisant de lectures.

Le niveau d'humidité relative doit alors être réduit de façon contrôlée entre 35 % et 45 % à et les lectures doivent être relevées une fois la chambre stabilisée.

8.5.4.3 Résultats

On considère que l'instrument réussit l'essai si l'erreur supplémentaire s'ajoutant à celle causée par la température seule ne dépasse pas ± 5 % pour tous les instruments exceptés ceux utilisant des détecteurs au germanium pour lesquels l'erreur supplémentaire doit être de 0,3 %.

8.5.5 Champs magnétiques

8.5.5.1 Exigences

L'influence d'un champ magnétique, d'origine externe, de 40 A/m ne doit pas entraîner une variation de la NLI supérieure à ± 10 % pour les instruments dotés de compteurs à scintillation, et de $\pm 0,1$ % pour les instruments dotés de détecteurs à semi-conducteurs au Germanium.

Pour un équipement sans spectrométrie, le changement dans la réponse doit être inférieur à ± 2 %.

8.5.5.2 Méthode d'essai

Si des champs magnétiques peuvent être présents, un essai doit être effectué pour s'assurer de la capacité de fonctionnement des systèmes de mesure. Il convient que les paramètres réels d'essai fasse l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur.

The temperature in the chamber is then decreased to the lower limit specified (10 °C) and is kept at that temperature with an accuracy of ± 2 °C.

After 4 h the spectrum from a Uranium-235 radionuclide source is again accumulated. The centroid positions are determined and the deviation $\Delta E_{\gamma i}$ from the straight-line approximation of the response curve in the reference conditions is determined. Then the maximum deviation value $\Delta E_{\gamma \max}$ is taken from the number of deviations $\Delta E_{\gamma i}$ obtained and the INL value for minimum operating temperature is calculated.

8.5.4 Relative humidity

8.5.4.1 Requirements

If the ambient relative humidity levels are greater than the limits stated in Table 1 a performance check should be made prior to use, to ensure operability.

If testing is required it shall be performed according to 8.5.4.2.

8.5.4.2 Method of test

Tests are performed using an environmental chamber. The chamber shall be stabilized at 35 °C ($\pm 0,7$ °C) and 40 % relative humidity. Sufficient readings shall be obtained using guidelines previously stated to establish a pre-test baseline.

The relative humidity level shall then be increased at a controlled rate over a period of time not exceeding 3 h to between 80 % and 90 %. After 48 h have elapsed, a sufficient number of readings shall again be obtained.

The relative humidity level shall then be reduced at a controlled rate to between 35 % and 45 % and readings shall be taken after the chamber has stabilized.

8.5.4.3 Results

It is considered that the instrument passes the test if the additional error over that due to temperature alone does not exceed ± 5 % for all instruments except those using germanium detectors where the additional error shall not exceed $\pm 0,3$ %.

8.5.5 Magnetic fields

8.5.5.1 Requirements

The influence of magnetic fields of external origin of 40 A/m shall not cause a variation of the INL of greater than ± 10 % for instruments with scintillation counters and $\pm 0,1$ % for instruments with germanium semi-conductor detectors.

In the case of equipment without spectrometry the change in response shall be less than ± 2 %.

8.5.5.2 Method of test

If magnetic fields are present, a test shall be performed to ensure the counter's operability. Actual test parameters should be agreed upon by the manufacturer and the purchaser.

8.5.6 Pression atmosphérique

En règle générale, la variation de la pression atmosphérique n'affecte pas le ou les détecteurs ni les ensembles électroniques.

Si nécessaire, il convient que des essais représentatifs soient effectués avec d'autres valeurs de la pression atmosphérique.

9 Exigences de performance et procédures d'essai pour la mesure des émetteurs de haute énergie

9.1 Procédures générales d'essai

9.1.1 Nature des essais

Tous les essais mentionnés dans ce document sont considérés comme des essais de type à l'exception des essais individuels de série décrits en 9.4.2.2.b), cependant, certains essais, ou tous les essais, peuvent être considérés comme des essais de réception suite à un accord entre le fabricant et l'acheteur. Les exigences mentionnées sont des exigences minimales et peuvent être étendues à tout instrument ou fonction spécifique.

Nombre des procédures d'essai sont identiques à celles des spectromètres gamma (voir la CEI 61276).

Les conditions normales d'essai et de référence sont définies dans le Tableau 1.

9.1.2 Essais effectués dans les conditions normales d'essai

Les essais effectués dans des conditions normales d'essais sont répertoriés dans les Tableaux 4, 5 et 6 qui indiquent pour chaque caractéristique, les limites de variation et le paragraphe décrivant la méthode d'essai correspondante.

9.1.3 Essais effectués avec variation des grandeurs d'influence

Le but de ces essais est de déterminer les effets de la variation dans les grandeurs d'influence; ils sont indiqués dans les Tableaux 4, 5 et 6 avec la plage de variation de chaque grandeur d'influence, et les limites de la méthode d'essai correspondante sont décrites.

La plage de variation des grandeurs d'influence indiquées dans les Tableaux 4, 5 et 6 définit une plage de fonctionnement nominale à l'intérieur de laquelle la variation de la mesure doit rester dans les limites établies par le fabricant; ces limites ne doivent en aucun cas dépasser celles données dans les Tableaux 4, 5 et 6.

Afin de tester l'effet de la variation dans l'une des grandeurs d'influence essayées dans les Tableaux 4, 5 et 6, toutes les autres grandeurs doivent être maintenues dans les limites des conditions normales d'essai données dans le Tableau 1, sauf avis contraire spécifié dans la procédure d'essai concernée.

Afin de simplifier ces essais pour chaque grandeur d'influence individuelle, seul l'essai individuel de série concernant l'erreur intrinsèque a besoin d'être effectué, en recourant à trois lectures au minimum à approximativement la moitié de l'échelle totale de la plage.

D'autres aspects des performances de l'appareil nécessitent la variation des grandeurs d'influence pour être essayés, uniquement si l'on considère que l'essai individuel de série spécifié n'apportera pas une mesure représentative.

8.5.6 Atmospheric pressure

The variation of atmospheric pressure in general does not affect detector(s) and electronic assemblies.

Representative tests at other values of atmospheric pressure should be performed if required.

9 Performance requirements and test procedures for high-energy emitter measurements

9.1 General test procedures

9.1.1 Nature of tests

All tests in this document are regarded as type tests except those routine tests described in 9.4.2.2b), although any or all of the tests may be considered as acceptance tests by agreement between the manufacturer and the purchaser. The stated requirements are minimum requirements and may be extended for any particular instrument or function.

Many of the test procedures are similar to those of gamma spectrometers (see IEC 61276).

Reference and standard test conditions are defined in Table 1.

9.1.2 Tests performed under standard test conditions

Tests which are performed under standard test conditions are listed in Tables 4, 5 and 6 which indicate, for each characteristic, the limits of variation and the subclause where the corresponding test method is described.

9.1.3 Tests performed with variation of influence quantities

These tests are intended to determine the effects of variation in influence quantities, and are given in Tables 4, 5 and 6 with the range of variation of each influence quantity and the limits of the corresponding test method are described.

The range of variation of influence quantities indicated in Tables 4, 5 and 6 defines a nominal operating range within which the variation in measurement shall remain within the limits stated by the manufacturer; these limits shall in no case exceed those laid down in Tables 4, 5 and 6.

In order to test the effect of variation in any one of the influence quantities tested in Tables 4, 5 and 6, all other quantities shall be maintained within the limits for the standard test conditions given in Table 1, unless otherwise specified in the test procedure concerned.

In order to simplify these tests for each individual influence quantity, only the routine test concerning the intrinsic error need be performed, using not less than three readings at approximately half full scale on a range.

Other aspects of the performance of the instrument need to be tested with the variation of influence quantities only if it is considered that the routine test specified will not give a representative measurement.

9.2 Fluctuations statistiques

Pour tout essai impliquant l'utilisation d'un rayonnement, si l'amplitude des fluctuations statistiques résultant du caractère aléatoire du rayonnement en cours de détection constitue une fraction importante de la variation de la mesure permise dans les essais, alors, un nombre suffisant de lectures doivent être fait pour s'assurer que la valeur moyenne de telles lectures peut être évaluée avec suffisamment de précision pour démontrer la conformité à l'essai en question (voir Annexe A).

9.3 Fantômes de référence et sources

9.3.1 Généralités

Les fantômes radioactifs de référence et les sources nécessaires pour déterminer la performance et essayer les instruments peuvent être les suivants:

- fantômes primaires requis pour l'étalonnage de base (voir 8.3.2);
- fantômes secondaires ou sources pouvant être utilisés complémentaires dans le cadre d'essais individuels de série ou d'autres essais spécifiques. Le fantôme secondaire peut ne pas être physiquement identique au fantôme primaire.

La valeur de l'activité conventionnellement vraie des fantômes ou des sources doit être connue avec une erreur n'excédant pas 10 % (intervalle de confiance de 95 %) et il convient que la valeur relative des activités du fantôme ou de la source utilisée dans les mêmes essais soit connue avec une erreur n'excédant pas 5 % (intervalle de confiance de 95 %). Le cas échéant, la correction de la décroissance radioactive de la source doit être effectuée.

9.3.2 Fantômes primaires

Les fantômes primaires doivent être uniformément chargés avec le radionucléide Césium-137 sauf s'il en a été convenu autrement par accord entre le fabricant et l'acheteur. Les fantômes primaires doivent simuler des organes. Par exemple, afin de déterminer les niveaux d'activité des nucléides Iode-131 ou Cobalt-60, un fantôme simulant un cou et renfermant un radionucléide Iode-131 dans la thyroïde ou un fantôme simulant le thorax avec du Cobalt-60 dans les poumons, peuvent être respectivement utilisés.

9.3.3 Fantômes secondaires (sources radioactives)

Le radionucléide utilisé dans un fantôme secondaire doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fabricant.

Les fantômes secondaires doivent être étalonnés par rapport aux fantômes primaires dans des conditions similaires.

9.3.4 Fantômes «bruit de fond»

Pendant les mesures, des fantômes «bruit de fond» (sans matières radioactives) doivent être utilisés afin de contrôler la réponse de bruit de fond du système de mesure in vivo. Ces fantômes doivent être identiques aux fantômes utilisés pour mesurer les performances à ceci près qu'ils ne doivent pas renfermer de matières radioactives.

9.2 Statistical fluctuations

For any test involving the use of radiation, if the magnitude of the statistical fluctuations arising from the random nature of the radiation being detected is a significant fraction of the variation of the measurement permitted in the tests, then sufficient readings shall be taken to ensure that the mean value of such readings may be estimated with sufficient precision to demonstrate compliance with the test in question (see Annex A).

9.3 Reference phantom and sources

9.3.1 General

Radioactive reference phantoms and sources, which are necessary for performance determination and testing of the instruments, may be the following:

- primary phantoms required for basic calibration (see 8.3.2);
- secondary phantoms or sources which can be used additionally for routine or other specific tests. The secondary phantom may not be identical in physical form to the primary phantom.

The value of the conventionally true activity of phantoms or sources shall be known with an error of not more than 10 % (95 % confidence) and the relative value of phantom or source activities used in the same tests should be known with an error of not more than 5 % (95 % confidence). If necessary, correction for radioactive decay of the source shall be made.

9.3.2 Primary phantoms

The primary phantoms shall be uniformly filled with the radionuclide Caesium-137 unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser. Primary phantoms shall simulate the organs. For example, to determine the levels of Iodine-131 or Cobalt-60 nuclides, a neck phantom with Iodine-131 radionuclide in the thyroid phantom or a phantom with Cobalt-60 in the lung position may be used respectively.

9.3.3 Secondary phantoms (radioactive sources)

The radionuclide used in a secondary phantom shall be agreed between the purchaser and the manufacturer.

Secondary phantoms shall be calibrated in relation to primary phantoms under similar conditions.

9.3.4 Background phantoms

During measurements “background” phantoms (without radioactive materials) shall be used to check in vivo counter background response. These phantoms shall be identical to the phantoms used for performance measurements but without radioactive materials.

9.4 Caractéristiques sous rayonnement

9.4.1 Erreur relative intrinsèque

9.4.1.1 Exigences

L'erreur relative intrinsèque définie en 3.10 ne doit pas s'écarter de la réponse donnée par le fabricant de plus de $\pm (10 + F_{SA})$ % pour les équipements de type 1, $\pm (20 + F_{SA})$ % pour les équipements de type 2, $\pm (30 + F_{SA})$ % pour les équipements de type 3 et $\pm (40 + F_{SA})$ % pour les équipements de type 4; où F_{SA} représente l'incertitude en pourcentage de l'activité conventionnellement vraie du fantôme d'essai.

9.4.1.2 Méthode d'essai

Le fantôme primaire défini en 9.3.2 avec le radionucléide de référence et le fantôme bruit de fond équivalent doivent, chacun leur tour, être placés dans leur position spécifique par rapport aux détecteurs tel que cela est défini par le fabricant, et les lectures effectuées. L'activité du fantôme primaire doit représenter ± 20 % de l'activité spécifiée par le fabricant.

9.4.2 Linéarité

9.4.2.1 Exigences

Les essais suivants doivent être réalisés dans des conditions normales d'essai avec les commandes d'étalonnage réglées selon les consignes du fabricant:

a) Essais de type

Un essai utilisant des fantômes ou des sources doit être effectué à approximativement 40 % des décades de mesures les plus hautes et les plus basses. Des essais avec des fantômes, des fantômes secondaires, des sources ou des essais électroniques équivalents doivent également être effectués à 20 % et à 80 % de chaque décade de la gamme d'énergie de l'équipement, et à 40 % des plages ou décades intermédiaires. (La méthode de comparaison des activités réelles des fantômes secondaires et des sources est donnée en 9.4.2.2 ci-dessous.)

b) Essais individuels de série

Les essais de fantômes, de fantômes secondaires ou les essais de source doivent être effectués en au moins un point. Les essais de fantôme, de source ou les essais électroniques équivalents doivent être effectués en un point à environ 50 % de chaque décade de la plage de l'équipement.

9.4.2.2 Méthode d'essai

a) Essais du fantôme primaire

Il convient que les fantômes primaires simulant un rayonnement gamma du radionucléide présent dans un corps et le fantôme «bruit de fond» soient placés dans leur position spécifique par rapport aux détecteurs tel que cela a été défini par le fabricant.

De plus, pendant l'essai de type, pour lequel les fantômes secondaires ou les sources doivent être utilisés pour les essais suivants, placer le fantôme secondaire approprié ou la source dans sa position spécifique par rapport au détecteur et établir les réponses relatives des fantômes secondaires ou des sources aux fantômes primaires. Le fantôme approprié, ou la source, utilisé pour déterminer la réponse relative, doit présenter une activité telle que sa réponse ne s'écarte pas de plus de ± 20 % de la réponse d'un fantôme primaire.

b) Essais électroniques

L'ensemble de mesure seul peut être essayé par transmission d'un signal électronique approprié à l'entrée normale du détecteur.

9.4 Radiation characteristics

9.4.1 Relative intrinsic error

9.4.1.1 Requirements

The relative intrinsic error as defined in 3.10 shall be within $\pm(10 + F_{SA})\%$ for type 1 equipment, $\pm(20 + F_{SA})\%$ for type 2 equipment, $\pm(30 + F_{SA})\%$ for type 3 equipment and $\pm(40 + F_{SA})\%$ for type 4 equipment of the response given by the manufacturer; where F_{SA} is the uncertainty in per cent of the conventionally true activity of the test phantom.

9.4.1.2 Method of test

The primary phantom, as defined in 9.3.2, with the reference radionuclide and the equivalent background phantom shall in turn be located at their defined position relative to the detectors as defined by the manufacturer and readings taken. The nominal activity of the primary phantom shall be between $\pm 20\%$ of the activity specified by the manufacturer.

9.4.2 Linearity

9.4.2.1 Requirements

Under standard test conditions with the calibration controls adjusted according to the manufacturer's instructions, the following tests shall be carried out.

a) Type tests

A test using phantoms or sources shall be performed at approximately 40 % of the highest and lowest of the measurement decades. Tests with phantoms, secondary phantoms, sources or equivalent electronic tests shall also be carried out at 20 % and 80 % of each decade of the energy range of the equipment and at 40 % of the intermediate ranges or decades. (The method of comparison of the effective activities of the secondary phantoms and sources is given in 9.4.2.2.)

b) Routine tests

Phantom, secondary phantom or source tests shall be performed at least at one point. Phantom, source or equivalent electronic tests shall be performed at one point at about 50 % of each decade of the range of the equipment.

9.4.2.2 Method of test

a) Primary phantom tests

The primary phantoms simulating gamma-radiation of the radionuclide from the body and the "background" phantom should be located at their defined position relative to the detector(s) as defined by the manufacturer.

In addition during type testing, where secondary phantoms or sources are to be used for subsequent tests, locate the appropriate secondary phantom or source at its defined position relative to the detector and establish the relative responses of the secondary phantoms or sources to the primary phantoms. The appropriate phantom or source used for the determination of relative response shall be of an activity such that it gives a response within $\pm 20\%$ of the response of a primary phantom.

b) Electronic tests

The measuring assembly alone may be tested by injection of an appropriate electronic signal at the normal detector input.

9.4.2.3 Expression des résultats

Les exigences de 9.4.2.1 peuvent être tenues pour satisfaites si:

- a) La différence entre l'une des valeurs observées de F et l'erreur relative intrinsèque, ne dépasse pas $(2F_1 + F_{SR})$.
- b) Aucune valeur observée de F ne dépasse $(F_1 + F_{SA})$

où

F_1 correspond à la précision de mesure requise exprimée en pourcentage et donnée dans les Tableaux 4, 5 ou 6;

F_{SA} est l'incertitude absolue sur l'activité conventionnellement vraie du fantôme d'essai (% de source) (confiance de 95 %);

F_{SR} est l'incertitude relative sur l'activité du fantôme d'essai par rapport aux autres sources ou fantômes dans le dispositif d'essai, exprimée en % (confiance de 95 %).

9.4.3 Réponse à d'autres radionucléides

(Pour les systèmes de mesure in vivo de type 4 et les radionucléides spécifiques des systèmes de mesure in vivo de type 3).

9.4.3.1 Exigences

Si les systèmes de mesure de type 3 ou de type 4 ne mesurent qu'un nombre limité de radionucléides, la réponse de l'instrument aux radionucléides autres que ceux des nucléides de référence doit être spécifiée par le fabricant. Les radionucléides d'intérêt doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur.

9.4.3.2 Méthode d'essai

La méthode d'essai est identique à celle décrite en 9.4.1.2 mais elle implique l'utilisation des radionucléides d'intérêt qui conviennent.

9.4.4 Détermination de la gamme d'énergie

Cela n'est pas requis pour les systèmes de mesure in vivo de type 4.

9.4.4.1 Exigences

La détermination de la gamme d'énergie du rayonnement gamma enregistrée par un instrument est fondée sur la recherche expérimentale des centroïdes du pic pleine énergie des raies gamma monoénergétiques des radionucléides émetteurs gamma Am-241, Co-57, Ba-133, Cs-137, Mn-54, Co-60, Y-88 et Th-228.

En réglant le gain de l'amplificateur, une gamme d'énergie est sélectionnée de telle sorte que 80 % à 90 % des canaux disponibles de l'analyseur multivoies soient utilisés. Chaque source est laissée en place pour qu'au moins 2×10^3 coups soient accumulés. Le taux de comptage moyen pendant la mesure ne doit pas dépasser 10^3 s^{-1} .

9.4.4.2 Résultats de la mesure

La gamme d'énergie du rayonnement gamma enregistré est déterminée à partir de l'approximation de la droite de conversion caractéristique de l'instrument (voir 9.4.5).

La gamme d'énergie du rayonnement gamma enregistrable doit être telle que requis en 4.2.2.

9.4.2.3 Expression of results

The requirements of 9.4.2.1 may be considered to be met if

- a) the difference between any of the observed values of F , the relative intrinsic error does not exceed $(2F_1 + F_{SR})$;
- b) no single observed value of F exceeds $(F_1 + F_{SA})$

where

F_1 is the required accuracy of measurement in % given in Tables 4, 5 or 6;

F_{SA} is the absolute uncertainty of the conventionally true activity of the test phantom (source %) (95 % confidence);

F_{SR} is the relative uncertainty of the activity of the test phantom to other sources or phantoms in the test set % (95 % confidence).

9.4.3 Response to other radio nuclides

(For type 4 in vivo counters and specific radionuclides for type 3 in vivo counters.)

9.4.3.1 Requirements

If the type 3 or type 4 in vivo counters determines a limited number of radio nuclides, the response of the instrument to radio nuclides other than that of the reference nuclides shall be specified by the manufacturer. The radionuclides of interest shall be agreed upon between the manufacturer and the purchaser.

9.4.3.2 Method of test

The method of test is identical to that described in 9.4.1.2 but uses the appropriate radionuclides of interest

9.4.4 Energy range determination

This is not required for type 4 in vivo counters.

9.4.4.1 Requirements

Determination of the gamma-radiation energy range registered by an instrument is based on the experimental finding of the full-energy peak centroids of mono-energetic gamma-lines of Am-241, Co-57, Ba-133, Cs-137, Mn-54, Co-60, Y-88 and Th-228 gamma-emitting radio nuclides.

Adjusting the gain of the amplifier, an energy range is chosen so that 80 % to 90 % of the available channels of the multi-channel analyser are used. Each source is left in place so that at least 2×10^3 counts are accumulated. The mean count rate during the measurement shall not be more than 10^3 s^{-1} .

9.4.4.2 Measurement results

The energy range of registered gamma radiation is determined from the straight-line approximation of the conversion characteristic of the instrument (see 9.4.5).

The energy range of the gamma-radiation which can be registered shall be as required by 4.2.2.

9.4.5 Détermination de l'erreur de non-linéarité intégrale (NLI)

Cela ne constitue pas nécessairement une exigence pour les systèmes de mesure in vivo de types 3 et 4.

9.4.5.1 Méthode de mesure

L'erreur de la NLI (caractéristique de conversion) est également déterminée sur la base de la détermination expérimentale de la position du centroïde du pic pleine énergie des raies gamma monoénergétiques. La mesure doit être effectuée avec les radionucléides émetteurs gamma conformément à 9.4.4.1 et 9.4.4.2. En guise de résultat, le numéro n_{io} correspondant à la position du centroïde du pic à l'énergie du photon $E_{\gamma i}$ est obtenu.

9.4.5.2 Détermination de la NLI

La NLI est déterminée pour chaque ensemble de détection de la façon suivante. La pente de conversion caractéristique peut être donnée en première approximation avec la droite:

$$N = \tilde{a} + \tilde{B} \times E_{\gamma}$$

où

$\tilde{a}$ est l'énergie associée à la voie 0 de l'analyseur d'amplitude;

$\tilde{B} = 1/k$ où k est la largeur en énergie du canal de l'analyseur multicanal sur l'échelle d'énergie sélectionnée de l'instrument.

Pour chacune des positions n_{io} du pic du centroïde correspondant à l'énergie $E_{\gamma i}$, l'écart $\Delta E_{\gamma i}$ par rapport la droite de conversion caractéristique est calculé.

La NLI est calculée à partir de la formule

$$\eta(\%) = \frac{\Delta E_{\gamma \text{imax}}}{E_{\gamma \text{max}}} \times 100$$

où

$\Delta E_{\gamma \text{imax}}$ représente le maximum des valeurs absolues de $\Delta E_{\gamma i}$;

$E_{\gamma \text{max}}$ est l'amplitude maximale du signal mesuré.

9.4.5.3 Résultats de la mesure

La valeur obtenue pour la NLI ci-dessus ne doit pas dépasser les valeurs indiquées en 7.4.

9.4.6 Détermination de l'efficacité pour l'émission gamma à 661,7 keV du Césium-137

9.4.6.1 Méthode de mesure

Un fantôme de géométrie connue contenant du Césium-137 est placé, par rapport aux détecteurs, dans la position définie par le fabricant. L'activité de la source doit permettre d'obtenir un taux de comptage correspondant à au moins deux fois celui donné par le bruit de fond. Le spectre de la raie gamma est alors enregistré, ou, dans le cas des systèmes de mesure in vivo de type 3 et 4 sans analyse spectrale, une mesure est effectuée. Le temps de mesure est choisi pour donner un nombre de coups total d'au moins 10^4 coups dans le pic d'énergie d'absorption totale ou un comptage total de 10^4 s'il s'agit de systèmes de mesure in vivo de type 4. La mesure, y compris la mise en position du fantôme, doit être répétée 5 fois.

La mesure doit alors être répétée pendant le même temps de mesure T_m avec un fantôme non actif (bruit de fond).

9.4.5 Determination of the integral non-linearity (INL) error

This is not necessarily a requirement for types 3 and 4 in vivo counters.

9.4.5.1 Measurement procedure

The INL (conversion characteristic) error is also determined on the basis of experimental determination of the full-energy peak centroid position of mono-energetic gamma-lines. The measurement shall be performed with the gamma-emitting radionuclides in accordance with 9.4.4.1 and 9.4.4.2. As a result, a number of peak centroid positions n_{i0} corresponding to photon energy $E_{\gamma i}$ are obtained.

9.4.5.2 INL determination

The INL is determined in the following way. The conversion characteristic is approximated with the straight line:

$$N = \tilde{a} + \tilde{B} \times E_{\gamma}$$

where

$\tilde{a}$ is the energy associated with channel 0 of the pulse height analyser;

$\tilde{B} = 1/k$ where k is the energy channel width of the multi-channel analyser on the chosen energy scale of the instrument.

For each of the centroid peak positions n_{i0} corresponding to the energy $E_{\gamma i}$ the deviation $\Delta E_{\gamma i}$ from the straight-line approximation of the conversion characteristic is calculated.

The INL is calculated from the formula

$$\eta(\%) = \frac{\Delta E_{\gamma i \max}}{E_{\gamma \max}} \times 100$$

where

$\Delta E_{\gamma i \max}$ is the maximum of the absolute values of $\Delta E_{\gamma i}$;

$E_{\gamma \max}$ is the maximum measure signal pulse height.

9.4.5.3 Measurement results

The value obtained for the INL above shall not exceed the values stated in 7.4.

9.4.6 Determination of the efficiency to Caesium-137 661,7 keV gamma

9.4.6.1 Measurement procedure

A phantom containing Caesium-137 in a known geometry is placed in the position relative to the detectors as defined by the manufacturer. The activity of the source shall be such as to give a count-rate of at least twice that given by background. Then the gamma ray spectrum is registered or, in the case of type 3 and 4 in vivo counters with no spectral analysis, a measurement is made. The measurement time is chosen to give a total count of at least 10^4 counts in the full-energy absorption peak or a total count of 10^4 in the case of type 4 in vivo counters. The measurement including placing the phantom in position shall be repeated five times.

The measurement shall then be repeated for the same measurement time T_m with an inactive (background) phantom.

Le taux de comptage C dans le pic d'énergie d'absorption totale est déterminé à partir de la formule:

$$C = \frac{\sum_{i=n}^m C_i}{T_m}$$

où

i est le nombre de canaux;

C_i correspond aux coups dans le canal i ;

n est le nombre de canaux au point le plus bas du pic d'énergie d'absorption totale;

m est le nombre de canaux au point le plus haut du pic d'énergie d'absorption totale;

T_m est le temps de mesure.

Le taux de comptage du bruit de fond B dans la zone du pic d'énergie d'absorption totale est déterminé à partir de:

$$B = \frac{\sum_{i=n}^m B_i}{T_m}$$

B_i correspond aux coups dans le canal i ;

et tous les autres termes ayant les valeurs numériques exactes données ci-dessus.

Concernant les types 3 et 4 sans analyse spectrale:

C est le taux de comptage provenant d'un fantôme actif et d'un bruit de fond sur un temps T ;

B est le taux de comptage, sur le temps T , provenant uniquement du fantôme bruit de fond.

9.4.6.2 Détermination du rendement

Le rendement ε est déterminé à partir de la formule

$$\varepsilon = \frac{\bar{C} - B}{A_0 \Im \exp \left(- \frac{0,693}{T_{0,5}} t \right)}$$

où

$\bar{C}$ est la valeur moyenne des valeurs de C obtenues précédemment;

$\Im$ est l'intensité d'émission du pic d'énergie à 661,7 keV résultant de la décroissance du Césium-137 = 0,85;

t est le temps écoulé en années à partir de l'étalonnage de la source;

$T_{0,5}$ est la demi-vie du Césium-137 (30 ans);

A_0 est l'activité de la source en becquerels au moment de son étalonnage.

9.4.6.3 Résultats de la mesure

Le fabricant doit indiquer le facteur d'étalonnage (l'inverse de l'efficacité) pour la raie 661,7 keV du Césium-137 en termes de taux de comptage par unité activité.

The count rate C in the full-energy absorption peak is determined from the formula:

$$C = \frac{\sum_{i=n}^m C_i}{T_m}$$

where

i is the channel number;

C_i is the counts in channel i ;

n is the channel number at the lowest point of the full energy absorption peak;

m is the channel number at the highest point of the full energy absorption peak;

T_m is the measurement time.

The background count rate B in the equivalent of the full-energy absorption peak is determined from

$$B = \frac{\sum_{i=n}^m B_i}{T_m}$$

where

B_i is the counts in channel i ;

and all other terms having the exact numerical values given above.

In the case of types 3 and 4 in vivo counters without spectral analysis:

C is the count rate from the active phantom and background over time T ;

B is the count rate from the background phantom only over time T .

9.4.6.2 Determination of efficiency

Efficiency ε is determined from the formula

$$\varepsilon = \frac{\bar{C} - B}{A_0 \Im \exp \left(- \frac{0,693}{T_{0,5}} t \right)}$$

where

$\bar{C}$ is the mean value of the values of C obtained above;

$\Im$ is the abundance of 661,7 keV resulting from the decay of Caesium-137 = 0,85;

t is the time passed from the calibration of the source in years;

$T_{0,5}$ is the half-life Caesium-137 (30 years);

A_0 is the activity of the source in becquerels at the time of its calibration.

9.4.6.3 Measurement results

The manufacturer shall state the calibration factor (the reciprocal of the efficiency) for the 661,7 keV line of Caesium-137 in terms of count-rate per unit activity.

9.4.7 Détermination de l'efficacité pour l'Iode-131

9.4.7.1 Méthode de mesure

La détermination de l'efficacité pour l'énergie gamma de 364,5 keV provenant de l'Iode-131 est effectuée par le biais d'un fantôme simulant une thyroïde chargée avec de l'iode et se trouvant à l'intérieur d'un fantôme simulant un corps humain ou d'un fantôme de cou. Le fantôme est placé, par rapport au détecteur, dans la position définie par le fabricant. Les spectres de la raie gamma sont alors enregistrés, ou, s'il s'agit de systèmes de mesure in vivo sans analyse spectrale, une mesure directe est effectuée.

Les mesures et les calculs sont effectués selon 9.4.6.1.

9.4.7.2 Détermination de l'efficacité

La même formule que celle prescrite en 9.4.6.2 est utilisée.

Toutefois, pour l'Iode-131

$T_{0,5} = 8,04$ jours;

$\mathfrak{S} = 0,812$ pour les unités avec analyse spectrale.

Concernant les systèmes de mesure in vivo de type 4 sans analyse spectrale, l'équipement sera sensible aux autres émissions gamma, ainsi, pour l'Iode-131 il convient que $\mathfrak{S}$ soit considéré comme égal à 0,972 (valeurs issues de la CIPR 38).

9.4.8 Détermination de l'efficacité pour le Cobalt-60

Cette information est fournie sur accord entre l'acheteur et le fabricant; elle suppose l'utilisation de fantômes simulant des poumons et uniformément chargés avec du Cobalt-60 et logés à l'intérieur d'un fantôme simulant un corps. La méthode de mesure et le calcul sont donnés en 9.4.6. En ce qui concerne les détecteurs à cristal d'iodure de sodium, afin d'éviter les problèmes de chevauchement entre les pics de 1,173 MeV et 1,332 MeV, la gamme d'énergie de l'équipement doit être conçue pour intégrer ces deux pics, donc

$T_{0,5} = 5,271$ années

$\mathfrak{S} = 1,00$ (2,00 pour le détecteur NaI, lorsque les intensités des deux pics sont considérées ensemble) (valeurs issues de la CIPR 38).

9.4.9 Bruit de fond

9.4.9.1 Méthode de mesure

La méthode est décrite en 8.4.6 à ceci près que trois mesures doivent être effectuées sur une période de plus de 10 min. Cela doit être déterminé dans un environnement connu inférieur à $0,25 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$.

9.4.9.2 Méthode de mesure du bruit de fond

La moyenne des taux de comptage dans les gammes d'énergie spécifiées est calculée par référence à la formule donnée en 8.4.5.1.

9.4.9.3 Résultats de la mesure

La valeur des taux de comptage du bruit de fond trouvée en 9.4.9.2 ne doit pas dépasser la valeur équivalente spécifiée par le fabricant.

9.4.7 Determination of the efficiency to Iodine-131

9.4.7.1 Measurement method

The determination of the efficiency to the gamma energy of 364,5 keV from Iodine-131 is made using a thyroid phantom loaded with iodine inside a whole body phantom or neck phantom. The phantom is placed in position relative to the detectors as defined by the manufacturer. The gamma ray spectrum is registered or, in the case of the in vivo counters with no spectral analysis, a direct measurement is made.

Measurements and calculations are made according to 9.4.6.1.

9.4.7.2 Determination of efficiency

The same formula as used in 9.4.6.2 is used.

However, for Iodine-131,

$$T_{0,5} = 8,04 \text{ days;}$$

$$\mathfrak{I} = 0,812 \text{ for units with spectral analysis.}$$

For type 4 in vivo counters without spectral analysis, the equipment will be sensitive to the other gamma emissions so for Iodine-131 $\mathfrak{I}$ should be taken as 0,972 (values taken from ICRP 38).

9.4.8 Cobalt-60 efficiency determination

This information is provided by agreement between the purchaser and the manufacturer using lung phantoms uniformly loaded with Cobalt-60 within a body phantom. The measurement method and calculation are as given in 9.4.6. In the case of Sodium Iodide detector systems, to avoid problems with overlap between the 1,173 MeV and 1,332 MeV peaks, the energy range of the equipment shall be such as to incorporate both these peaks so

$$T_{0,5} = 5,271 \text{ years}$$

$$\mathfrak{I} = 1,00 \text{ (2,00 for NaI, where the two energies are taken together) (values taken from ICRP 38).}$$

9.4.9 Background

9.4.9.1 Measurement method

The method is as described in 8.4.6 except that three measurements over a period of more than 10 min shall be taken. This shall be determined in a known environment of less than $0,25 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$.

9.4.9.2 Background measurement method

The mean of the count rates in the energy ranges specified are calculated with reference to the formula given in 8.4.5.1.

9.4.9.3 Measurement results

The value of background count rates found in 9.4.9.2 shall not exceed the equivalent value specified by the manufacturer.

9.4.10 Détermination d'une limite de détection minimale

9.4.10.1 Méthode de détermination

Les valeurs limites de détection des radionucléides incorporés sont déterminées au moyen d'un calcul basé sur les résultats obtenus dans les essais précédents (9.4.6 à 9.4.9) et de la formule de 5.6.

Afin de se conformer aux exigences de la présente norme, il convient que la limite de détection soit déterminée en utilisant la limite inférieure de décision donnée en 5.6 et non la limite inférieure de détection donnée dans l'ISO 11929-4.

Le quantile $k_{1-\alpha}$ doit être donné avec la valeur 2,326 à des fins de comparaison des équipements; cela conduit à une probabilité d'indication erronée de 1 % et à une incertitude de détection de 50 %.

L'utilisateur peut utiliser d'autres valeurs pour les quantiles $k_{1-\alpha}$ et $k_{1-\beta}$ pour différentes probabilités de détection et d'indication erronée.

9.4.10.2 Résultats de la mesure

Les activités minimales détectables doivent être spécifiées par le fabricant pour des conditions de bruit de fond données.

9.4.11 Détermination du taux de comptage maximal

9.4.11.1 Exigences

Les exigences requièrent que le taux de comptage maximal (indiqué dans les Tableaux 4, 5 et 6) soit tel que tout temps mort ne puisse pas induire plus de 10 % de réduction dans le taux de comptage mesuré à partir du taux de comptage vrai.

Pour le nombre de coups maximal vrai

$$C_{\max} = \frac{0,1}{1,1\mu}$$

ou

$$0,0909 \times \frac{1}{\mu}$$

où μ est le temps mort total.

9.4.11.2 Méthode d'essai

Le taux de comptage maximal accepté par les détecteurs est déterminé par le temps mort total de l'équipement.

Pour cela, deux sources du radionucléides d'intérêt sont nécessaires, l'activité de chacune représente environ 10 %, mais pas plus, de la plage maximale de l'équipement.

Tout d'abord, il faut mesurer les coups du bruit de fond dans la bande d'énergie adéquate donnée en 9.4.9. Soit B , le taux de comptage.

Ensuite, placer l'une des sources dans la position de mesure et effectuer une mesure. Ce taux de comptage est appelé C_1 .

Placer enfin l'autre source dans la position de mesure de sorte qu'elle n'ait, en aucun cas, d'effet sur la détection du rayonnement provenant de la première source et qu'elle ne perturbe en aucune manière celle-ci. Ce taux de comptage total est appelé C_{12} .

9.4.10 Determination of minimum detection limit

9.4.10.1 Determination method

The minimum detection limit values of incorporated radionuclides are determined by means of calculation based on the results achieved in the previous tests (9.4.6 to 9.4.9) and the formula given in 5.6.

For the purposes of conforming with the requirements of this standard the minimum detection limit should be determined using the lower limit of decision as given in 5.6 and not the lower limit of detection as given in ISO 11929-4.

The quantile $k_{1-\alpha}$ shall be given the value of 2,326 for the purposes of intercomparison of equipments; this gives a risk of false indication of 1 % and a risk of non-detection of 50 %.

The user may use other values for the Quantiles $k_{1-\alpha}$ and $k_{1-\beta}$ for different probabilities of detection and false indication

9.4.10.2 Measurement results

The minimum detectable activities shall be specified by the manufacturer under specified background conditions.

9.4.11 Determination of the maximum count rate

9.4.11.1 Requirements

The requirements are that the maximum count rate (given in Tables 4, 5 and 6) is such that any dead time should cause less than 10 % reduction in measured count rate from true count rate.

For this to be true, maximum count

$$C_{\max} = \frac{0,1}{1,1\mu}$$

or

$$0,0909 \times \frac{1}{\mu}$$

where μ is the overall dead time.

9.4.11.2 Method of test

The maximum input count rate from the detectors is determined from the overall dead time of the equipment.

For this, two sources of the radionuclide of interest, the activity of each being about 10 %, but no more, of the maximum range of the equipment, are required.

First, measure the background counts in the relevant energy band as given in 9.4.9. Let the count rate be B .

Next, place one of the sources in the measuring position and take a count. This count rate is C_1 .

Next, place the other source in the measuring position in a position not to effect the detection of radiation from the first source in any way and in no way disturbing that source. This total count rate is C_{12} .

Retirer la première source et mesurer le taux de comptage C_2 .

La durée du comptage doit permettre au moins 10^5 coups provenant des sources et 10^4 provenant du bruit de fond (sauf si cette durée dépasse 3000 s).

Lorsqu'elles ne sont pas utilisées, les sources doivent être stockées de façon à ne pas avoir d'influence sur l'équipement.

Calculer $\frac{C_1 + C_2 - C_{12} - B}{C_1^2 + C_2^2 - (C_{12}^2 + B^2)}$ le temps mort total μ exprimé en secondes

où C_1 , C_2 , C_{12} et B sont en s^{-1} .

9.4.12 Détermination de la stabilité

9.4.12.1 Exigences

a) Pour les équipements de Type 1, 2 et 3

L'essai de l'instrument est considéré comme satisfaisant si pendant un fonctionnement continu de 24 h, l'instabilité maximale de la position du centroïde par rapport à la moyenne ne dépasse pas ± 2 % pour les instruments équipés de détecteurs à scintillation ou $\pm 0,2$ % pour les instruments équipés de détecteurs à semi-conducteurs.

b) Pour l'équipement de type 4

Le rapport entre l'écart type et la moyenne des lectures obtenues sur un délai de 24 h ne doit pas dépasser 4 %.

9.4.12.2 Méthode d'essai

a) Equipements dotés d'analyseurs multicanaux

La stabilité est déterminée à partir des données des spectres obtenues par le biais des raies gamma monoénergétiques du Cobalt-57 ($E_1 = 122,1$ keV) et Y-88 ($E_2 = 1836$ keV). Plusieurs mesures séquentielles sont effectuées pendant le fonctionnement ininterrompu de l'instrument.

Mettre l'appareil sous tension et le laisser préchauffer pendant le laps de temps spécifié par le fabricant.

Appliquer les sources à côté de la fenêtre d'entrée du détecteur et faire l'acquisition d'un spectre en comptant assez longtemps pour accumuler au moins 10^4 coups dans chaque pic. Pour les deux pics, enregistrer les coups dans chacune des voies qui affichent le pic d'énergie d'absorption totale. Calculer le centroïde du pic en utilisant la formule suivante.

$$X = \frac{\sum_{i=n}^m i \times C_i}{\sum_{i=n}^m C_i}$$

où

n est le numéro de canal le plus bas pour le pic d'énergie d'absorption totale;

m est le numéro de canal le plus haut pour le pic d'énergie d'absorption totale;

C_i est le nombre de coups collectés dans le $i^{\text{ème}}$ canal.

Enregistrer les positions des centroïdes, X_1 et X_2 , pour les deux pics. Répéter le processus, en acquérant des nouveaux spectres à des intervalles de 1 h, pendant au moins 24 h. Ne pas bouger la source avant que toutes les données ne soient obtenus.

Remove the first source and take a further count of rate C_2 .

The time of counting shall be such as to give at least 10^5 counts from the sources and 10^4 from background (unless this exceeds 3 000 s).

When not in use, the sources shall be stored so that they have no influence on the equipment.

Calculate $\frac{C_1 + C_2 - C_{12} - B}{C_1^2 + C_2^2 - (C_{12}^2 + B^2)}$ the overall dead time μ in seconds

where C_1, C_2, C_{12} and B are in s^{-1} .

9.4.12 Determination of stability

9.4.12.1 Requirements

a) For Type 1, 2 and 3 equipment

The instrument is considered to have passed the test if, during 24 h continuous operation, the maximum instability of the centroid position from the mean does not exceed ± 2 % for instruments with scintillation detectors or $\pm 0,2$ % for instruments with semi-conductor detectors.

b) For type 4 equipment

The ratio of the standard deviation to the mean of the readings obtained over a 24 h period shall not exceed 4 %.

9.4.12.2 Method of test

a) For equipment with multi-channel analysers

The stability is determined from the spectra data obtained from the mono-energetic gamma lines of Co-57 ($E_1 = 122,1$ keV) and Y-88 ($E_2 = 1836$ keV). Several sequential measurements are performed during uninterrupted operation of the instrument.

Switch the device on and allow it to warm up for the manufacturer's specified warm-up period.

Affix the sources adjacent to the entrance window of the detector and acquire a spectrum, counting long enough to obtain at least 10^4 counts in each peak. For both peaks, record the counts in each of the channels that display the full-energy absorption peak. Compute the centroid of the peak using the following formula.

$$X = \frac{\sum_{i=n}^m i \times C_i}{\sum_{i=n}^m C_i}$$

where

n is the lowest channel number for the full-energy absorption peak;

m is the highest channel number for the full-energy absorption peak;

C_i is the number of counts collected in the i^{th} channel.

Record the centroid positions, X_1 and X_2 , for the two peaks. Repeat the process, acquiring new spectra at 1 h intervals, for a period of at least 24 h. Do not move the sources before all data are taken.

Calculer les positions moyennes du centroïde pour les deux pics à l'aide de l'équation qui suit sous sa forme générale (substituer X_1 ou X_2 , selon le cas, pour X).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^j X_i}{j}$$

où j est le nombre de points de donnée pour X .

Calculer l'écart type pour des deux centroïdes, S_1 et S_2 , en utilisant la formule:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^j (X_i - \bar{X})^2}{j - 1}}$$

Le plus grand des deux centroïdes S_1 et S_2 est utilisé pour calculer l'instabilité de l'instrument, F , exprimée en pourcentages.

$$F = \frac{\sigma K}{E_2} \times 100$$

où

σ est l'écart type;

K est la largeur en unités d'énergie d'un seul canal, keV;

E_2 est l'énergie du pic supérieur (1836 keV pour l'Yttrium-88).

b) Equipement ne permettant pas la spectrométrie

Placer une source adéquate sur la fenêtre d'entrée du ou des détecteurs. Mettre l'instrument sous tension et respecter le temps de préchauffage spécifié par le fabricant.

Déterminer le temps de mesure, T_m , de telle sorte que 10^4 coups minimum soient obtenus par la source par rapport au bruit de fond sur un intervalle de mesure unique. Le même temps de mesure doit être utilisé pour chaque comptage acquis pendant l'essai.

Effectuer un cycle de comptage à intervalles de 1 h pendant 24 h en enregistrant le nombre de coups obtenu pour chaque intervalle. Calculer la moyenne et l'écart type des données collectées.

9.4.13 Mesure de la résolution en énergie

9.4.13.1 Méthode de détermination

La méthode de détermination de la résolution en énergie est la suivante:

La source est retirée et un spectre du bruit de fond est acquis puis soustrait du spectre précédent. La position du centroïde du pic correspondant à la raie gamma $E_{\gamma 1} = 1332,5$ keV et $E_{\gamma 2} = 1173,2$ keV du Cobalt-60 est déterminée selon la méthode décrite en 9.4.5.

Pour un instrument utilisant un détecteur à scintillation ou au Germanium, les sources des radionucléides Césium-137 et Cobalt-57 sont utilisées et placées dans l'ordre dans le support situé devant la fenêtre d'entrée du détecteur ou du collimateur.

En réglant le gain de l'amplificateur de l'analyseur, un spectre est obtenu de telle sorte que la largeur totale à mi-hauteur du pic de la raie d'énergie gamma $E_{\gamma 1} = 661,7$ keV représente au moins 10 canaux. Il y doit y avoir au moins 10^4 coups accumulés dans le pic.

Compute the mean centroid positions for the two peaks using the equation which follows in general form (substitute X_1 or X_2 , as appropriate, for X).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^j X_i}{j}$$

where j is the number of data points for X .

Compute the standard deviation for the two centroids, S_1 and S_2 , using the formula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^j (X_i - \bar{X})^2}{j - 1}}$$

The larger of S_1 and S_2 is used to compute the instability of the instrument, F , expressed as a percentage.

$$F = \frac{\sigma K}{E_2} \times 100$$

where

σ is the standard deviation;

K is the width of a single channel in energy units, keV;

E_2 is the peak energy of the upper peak (1836 keV for Yttrium-88).

b) For equipment without spectrometry

Affix an appropriate source to the entrance window of the detector(s). Switch the instrument on and allow the warm-up interval specified by the manufacturer to elapse.

Determine the measurement time, T_m , such that at least 10^4 counts will be collected from the source plus background in a single measurement interval. The same measurement time must be used for each datum point acquired during this test.

Perform a count cycle at 1 h intervals over a period of 24 h, recording the resultant count for each interval. Compute the mean and the standard deviation for the data collected.

9.4.13 Energy resolution measurement

9.4.13.1 Determination method

The method of determination of the energy resolution is as follows.

The source is removed and the background spectrum is accumulated which is to be subtracted from the previous spectrum. The peak centroid position corresponding to gamma-line $E_{\gamma 1} = 1332,5$ keV and $E_{\gamma 2} = 1173,2$ keV of Cobalt-60 are determined according to the method described in 9.4.5.

For an instrument with either a germanium scintillation detector, Caesium-137 and Cobalt-57 radionuclide sources are used that are in sequence placed in the holder in front of the detector entrance window or collimator.

Adjusting the gain of the analyser amplifier a spectrum is accumulated so that the full width at half maximum of the full-energy absorption peak for the gamma-energy line $E_{\gamma 1} = 661,7$ keV will be at least 10 channels. There shall be at least 10^4 counts accumulated in the peak.

La source est retirée et le spectre du bruit de fond est obtenu; il est soustrait du spectre de la source.

Ensuite, une source de Cobalt-57 est placée dans le support et le spectre est obtenu pour la raie d'énergie gamma $E_{\gamma 2} = 122,1$ keV. Les positions du centroïde du pic correspondant aux raies gamma des sources de Césium-137 et de Cobalt-57 sont déterminées selon 9.4.5.

9.4.13.2 Exigence

La résolution en énergie ne doit pas dépasser les valeurs spécifiées en 7.3.

9.4.13.3 Détermination de la résolution en énergie

Connaissant la position des centroïdes du pic gamma pour les deux sources, la largeur en canaux de l'analyseur exprimée en unités d'énergie est déterminée comme suit:

$$K = \frac{E_{\gamma 1} - E_{\gamma 2}}{n_1 - n_2}$$

où

$E_{\gamma 1} = 1332,5$ keV, pour le radionucléide Co-60;

$E_{\gamma 2} = 661,7$ keV pour le radionucléide Cs-137;

n_1 et n_2 sont les numéros de canaux correspondant aux centroïdes des 2 pics.

La largeur totale à mi-hauteur des pics d'énergie d'absorption totale $\Delta\eta$ des raies gamma du Co-60 et du Cs-137 est déterminée graphiquement ou par le biais d'un logiciel.

La résolution absolue en énergie (keV) est calculée avec la formule:

$$\varepsilon_R = \Delta\eta \times K$$

La résolution relative en énergie (%) est calculée avec la formule:

$$\varepsilon_{R'} = \frac{\Delta\eta K}{E_1} \times 100$$

9.5 Caractéristiques des performances environnementales

9.5.1 Généralités

Effectuer des essais visant à établir et/ou à vérifier la plage opérationnelle des systèmes de mesure in vivo à partir des conditions météorologiques environnementales ambiantes ne s'avère pas nécessaire lorsque l'instrument est utilisé dans un environnement contrôlé.

9.5.2 Compatibilité électromagnétique

9.5.2.1 Immunité aux décharges électrostatiques (DES)

Les critères d'immunité aux décharges électrostatiques sont définis dans la CEI 61000-4-2.

9.5.2.1.1 Exigences

Les essais permettant d'évaluer l'immunité aux DES doivent impliquer le recours à la technique de la «décharge de contact» pour les surfaces conductrices et les plans de couplage, et à la technique de la «décharge dans l'air» pour les surfaces isolantes. Les points de décharge doivent être fonction de l'utilisateur.

The source is removed and the background spectrum is accumulated that is subtracted from the source spectrum.

Afterwards, a Cobalt-57 source is placed in the holder and the spectrum is accumulated for the gamma-energy line $E_{\gamma 2} = 122,1$ keV. The peak centroid positions corresponding to Caesium-137 and Cobalt-57 source gamma lines are determined in accordance with 9.4.5.

9.4.13.2 Requirement

The energy resolution shall not exceed the values specified in 7.3.

9.4.13.3 Energy resolution determination

Knowing the position of the gamma peak centroids for both sources the analyser channel width in energy units is determined as

$$K = \frac{E_{\gamma 1} - E_{\gamma 2}}{n_1 - n_2}$$

where

$E_{\gamma 1} = 1332,5$ keV, for Co-60 radionuclide;

$E_{\gamma 2} = 661,7$ keV for Cs-137 radionuclide;

n_1 and n_2 are channel numbers corresponding to peak centroids.

The full width half maximum of the full-absorption energy peaks $\Delta\eta$ of Co-60 and Cs-137 gamma-line are determined graphically or by software means.

The absolute energy resolution (keV) is calculated by the formula:

$$\varepsilon_R = \Delta\eta \times K$$

The relative energy resolution (%) is calculated by the formula:

$$\varepsilon_{R'} = \frac{\Delta\eta K}{E_1} \times 100$$

9.5 Environmental performance characteristics

9.5.1 General

Performing tests to establish and/or verify an in vivo counter's operational range based on ambient environmental meteorological conditions is not necessary when the instrument is used in a controlled environment.

9.5.2 Electromagnetic compatibility

9.5.2.1 Immunity to electrostatic discharge (ESD)

Immunity to electrostatic discharge is defined in IEC 61000-4-2.

9.5.2.1.1 Requirements

The tests to evaluate the immunity to ESD shall use the "contact discharge" technique for conductive surfaces and coupling planes and the "air discharge" technique for insulating surfaces. Discharge points shall be based on user.

9.5.2.1.2 Méthode d'essai

Les essais suivants doivent être effectués selon la CEI 61000-4-2.

- a) Dix décharges par point de décharge avec au minimum 1 s de temps de récupération entre chaque décharge.
- b) L'intensité maximale de chaque décharge dépend de la technique utilisée: 6 kV pour le contact et 8 kV pour la décharge d'air. Ces niveaux sont ceux des Tableaux 1 et A1 de la CEI 61000-4-2, niveau 3.
- c) Les effets sur la réponse ne doivent pas dépasser $\pm 10\%$ de la réponse sans décharge. Aucune alarme ni autres sorties ne doivent être activées lorsque l'équipement est exposé à la décharge.

9.5.2.2 Immunité aux radiofréquences (RF)

Les critères d'immunité aux radiofréquences sont définis dans la CEI 61000-4-3.

Les exigences et les essais concernant l'immunité aux fréquences radioélectriques d'irradiation doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur.

9.5.2.3 Immunité aux surtensions transitoires

Les critères d'immunité aux surtensions transitoires sont définis dans la CEI 61000-4-5 et sur la CEI 61000-4-12, 5.4.15.3.

9.5.2.3.1 Exigences

Les essais doivent se baser sur les exigences de Classe 3 mentionnées dans l'Annexe B de la CEI 61000-4-5 et du niveau 3, Tableau 1, exigences de la CEI 61000-4-12. Il convient que les impulsions soient appliquées aux principales bornes d'alimentation via un circuit de couplage/ découplage, ou un équipement équivalent. Le taux de répétition ne doit pas dépasser une impulsion par minute.

9.5.2.3.2 Méthode d'essai

Les essais suivants doivent être effectués selon la CEI 61000-4-5 et la CEI 61000-4-12.

- a) Dix impulsions doivent être appliquées à l'équipement avec une durée minimale de 1 min entre les surtensions.
- b) Il convient que chaque impulsion soit une onde complexe (1,2/50 μ s – 8/20 μ s) à une intensité de 2 kV.
- c) Il convient que les impulsions de l'onde sinusoïdale fortement amortie ne n'excèdent pas 2 kV.
- d) Les effets sur la réponse ne doivent pas dépasser $\pm 10\%$ de la réponse sans l'impulsion. Il convient que aucune alarme ni autres sorties ne soient activées lorsque l'équipement est exposé à l'impulsion.

9.5.2.4 Immunité aux perturbations conduites

Les critères d'immunité aux perturbations conduites sont définis dans la CEI 61000-4-6.

9.5.2.1.2 Method of test

The following tests shall be performed according to IEC 61000-4-2.

- a) Ten discharges per discharge point with a minimum of 1 s recovery time between each discharge.
- b) The maximum intensity of each discharge is based on the technique used: 6 kV for contact, and 8 kV for air discharge. These levels are based on Tables 1 and A.1 of IEC 61000-4-2, level 3.
- c) Response effects shall not exceed ± 10 % of the response without discharge. No alarms or other outputs shall be activated when the equipment is exposed to the discharge.

9.5.2.2 Radiofrequency immunity (RF)

Radiofrequency immunity is defined in IEC 61000-4-3.

The requirements and tests for radiated radiofrequency immunity shall be by agreement between the manufacturer and purchaser.

9.5.2.3 Surge immunity

Surge immunity is defined in IEC 61000-4-5 and IEC 61000-4-12, 5.4.15.3.

9.5.2.3.1 Requirements

The tests shall be based on the Class 3 requirements stated in Annex B of IEC 61000-4-5 and level 3, Table 1, requirements of IEC 61000-4-12. Pulses should be applied to the main supply terminals via a coupling/decoupling network, or equivalent equipment. The repetition rate shall not exceed one per minute.

9.5.2.3.2 Method of test

The following tests shall be performed according to IEC 61000-4-5 and IEC 61000-4-12.

- a) Ten pulses shall be applied to the equipment with a minimum time between surges of 1 min.
- b) Each pulse should consist of a combination wave (1,2/50 μ s to 8/20 μ s) at an intensity of 2 kV.
- c) Ring-wave pulses should be not more than 2 kV.
- d) Response effects shall not differ by more than ± 10 % from the response without the pulse. No alarms or other outputs should be activated when the equipment is exposed to the pulse.

9.5.2.4 Immunity to conducted disturbances

Immunity to conducted disturbances is defined in IEC 61000-4-6.

9.5.2.4.1 Exigences

L'essai s'applique à l'équipement utilisé en présence des transmetteurs de fréquences radioélectriques et dans une plage de fréquences oscillant entre 150 kHz et 80 MHz. Les équipements qui n'ont pas au moins un câble conducteur (alimentation principale, circuit d'acheminement du signal ou connexion à la terre) sont exclus. Le protocole est fondé sur les exigences de classe 3 mentionnées dans l'Annexe C de la CEI 61000-4-6.

9.5.2.4.2 Méthode d'essai

Les essais suivants doivent être effectués selon la CEI 61000-4-6.

- a) Plage de fréquence de 150 kHz à 80 MHz avec une intensité de 140 dB(μV).
- b) Le signal doit être modulé en amplitude à 80 % avec une onde sinusoïdale de 1 kHz.
- c) Il convient que l'essai soit effectué en utilisant un balayage automatique à un taux n'excédant pas $1,5 \times 10^{-3}$ décades par seconde, ou 1 % du fondamental.
- d) Les effets sur la réponse ne doivent pas dépasser ± 10 % de la réponse quand le champ n'est pas présent. Aucune alarme ni autres sorties ne doivent être activées lorsque l'équipement est exposé au champ. A noter que certains niveaux de susceptibilité peuvent être acceptables; cela doit être spécifié par l'acheteur.

9.5.3 Température ambiante

9.5.3.1 Exigences

Si la température ambiante diffère de plus de 5 °C par rapport à la température normale indiquée dans le Tableau 1, il convient de réaliser un contrôle de performance avant utilisation pour s'assurer de la capacité de fonctionnement. Si un essai est requis, il doit être effectué conformément à 9.5.3.2.

9.5.3.2 Méthode d'essai

Mettre l'équipement dans une chambre climatique et le régler pour qu'il fonctionne dans les conditions de référence.

- a) Equipements dotés d'analyseur multicanal

Une source de Thorium-228 est placée devant le détecteur. Le gain de l'amplificateur est réglé pour la gamme d'énergie requise. Le spectre est accumulé jusqu'à ce que 2×10^3 coups minimum provenant de la source soient comptés dans le pic d'absorption de 2,614 MeV. Conformément à 9.4.5, les centroïdes du pic correspondant aux énergies 0,240 MeV, 0,583 MeV et 2,614 MeV sont déterminés. Les paramètres de la droite, approximation de la courbe de réponse et de la NLI dans les conditions de référence, sont déterminés (voir 9.4.5).

La température de la chambre est augmentée jusqu'à la limite la plus haute spécifiée (+35 °C) à un régime n'excédant pas 10 °C par heure; elle est contrôlée à ± 2 °C près. Après un délai de 4 h à cette température, le spectre est enregistré une fois de plus. Les positions du centroïde du pic avec des énergies de 0,240 MeV, 0,583 MeV et 2,614 MeV sont déterminées, et l'écart de leurs positions $\Delta E_{\gamma i}$ par rapport à la courbe de réponse de la droite dans les conditions de référence est calculé. La valeur de l'écart maximal $\Delta E_{\gamma \max}$ est alors estimée à partir des écarts $\Delta E_{\gamma i}$ obtenus et, conformément à 6.5, la valeur de la NLI pour la température maximale de fonctionnement est calculée.

La température de la chambre est abaissée jusqu'à la limite inférieure spécifiée (10 °C) et est conservée à cette valeur avec une précision de ± 2 °C.

9.5.2.4.1 Requirements

The test applies to equipment used in the presence of RF transmitters in the frequency range of 150 kHz to 80 MHz. Equipment which does not have a least one conducting cable (mains supply, signal line, or earth connection) is excluded. The protocol is based on the class 3 requirements stated in Annex C of IEC 61000-4-6.

9.5.2.4.2 Method of test

The following tests shall be performed according to IEC 61000-4-6.

- a) Frequency range of 150 kHz to 80 MHz at an intensity of 140 dB(μ V).
- b) The signal shall be 80 % amplitude modulated with a 1 kHz sine wave.
- c) The test should be performed using an automated sweep at a rate not greater than $1,5 \times 10^{-3}$ decades per second, or 1 % of the fundamental.
- d) Response effects shall not differ by more than ± 10 % from the response without the field present. No alarms or other outputs shall be activated when the equipment is exposed to the field. Note some level of susceptibility may be acceptable (this shall be specified by the purchaser).

9.5.3 Ambient temperature

9.5.3.1 Requirements

If the ambient temperature differs by more than 5 °C from the standard temperature stated in Table 1, a performance check should be made prior to use to ensure operability. If testing is required the test shall be performed according to 9.5.3.2.

9.5.3.2 Method of test

Place the equipment in an environmental chamber and set to work under reference conditions.

- a) Equipment fitted with multi-channel analysers

A Thorium-228 source is placed in front of the detector. The amplifier gain is set for the required energy range. The spectrum is accumulated until at least 2×10^3 counts are accumulated from the source in the 2,614 MeV absorption peak. In accordance with 9.4.5, the peak centroids corresponding to energies 0,240 MeV, 0,583 MeV and 2,614 MeV are determined. The straight-line parameters approximating to the response curve and the INL in the reference conditions are determined (see 9.4.5).

The temperature in the chamber is increased up to the highest limit specified (+35 °C) at a rate of not more than 10 °C per hour and is controlled to within ± 2 °C. After 4 h at this temperature, the spectrum is accumulated once more. The peak centroid positions with energies 0,240 MeV, 0,583 MeV and 2,614 MeV are determined and the deviation of their positions $\Delta E_{\gamma i}$ from the straight-line response curve in the reference conditions is calculated. Then the maximum deviation value $\Delta E_{\gamma \max}$ is taken from the deviations $\Delta E_{\gamma i}$ obtained and, in accordance with 6.4, the INL value for the maximum operating temperature is calculated.

The temperature in the chamber is then decreased to the lower limit specified (10 °C) and is kept at that temperature with an accuracy of ± 2 °C.

Après un délai de 4 h, le spectre émanant de la source des radionucléides Thorium-228 est de nouveau enregistré. Les positions du centroïde sont déterminées et l'écart $\Delta E_{\gamma i}$ par rapport à l'approximation de la droite de la courbe de réponse dans les conditions de référence est défini. La valeur maximale de l'écart $\Delta E_{\gamma \max}$ est issue du nombre d'écarts obtenus et la valeur de la NLI pour la température de fonctionnement minimale est calculée.

b) Equipement sans spectroscopie

Avec une source convenablement placée à proximité des détecteurs et dans des conditions normales d'essai, faire une lecture et la noter. Faire croître la température à 35 °C sans dépasser 10 °C par heure; la maintenir à cette valeur ± 2 °C. Après un délai de 4 h, faire une autre lecture et la noter. Abaisser la température à +10 °C à un taux n'excédant pas 10 °C par heure; la maintenir à cette valeur ± 3 °C. Après un délai de 4 h, relever une autre lecture et la noter.

NOTE Etant donné la taille relativement importante des systèmes de mesure in vivo, faire un essai de l'ensemble de l'instrument s'avère difficile. Il convient, par conséquent, d'effectuer les essais sur les composants éventuellement sensibles en accord entre le fabricant et l'acheteur.

9.5.3.3 Résultats

a) Equipements dotés d'analyseur multicanal

On considère que l'équipement satisfait à l'essai si, à des températures de fonctionnement extrêmes, l'écart à la courbe de réponse ne dépasse pas:

- ± 5 % pour un instrument avec détecteur à scintillation;
- $\pm 0,2$ % pour un instrument de type 3 avec détecteurs à semi-conducteurs au Germanium.

b) Equipements dépourvus de spectroscopie

Les lectures doivent correspondre à ± 5 % près aux lectures obtenues dans des conditions d'essai aux températures extrêmes.

9.5.4 Humidité relative

9.5.4.1 Exigences

Si les niveaux de l'humidité relative ambiante sont supérieurs aux limites mentionnées dans le Tableau 1, il convient d'effectuer un contrôle de performance avant utilisation afin de s'assurer de la capacité de fonctionnement.

Si un essai est requis, il doit être réalisé conformément à 9.5.4.2.

9.5.4.2 Méthode d'essai

Les essais sont effectués dans une chambre climatique. La chambre doit être stabilisée à 35 °C ± 2 °C et 35 % à 40 % d'humidité relative. Un nombre suffisant de lectures doit être obtenu en utilisant les directives précédemment mentionnées pour établir une ligne de base avant essai.

Le niveau d'humidité relative doit alors être augmenté entre 80 % et 90 % de manière contrôlée et sur un laps de temps ne dépassant pas 3 h. Après un délai de 48 h, on doit de nouveau réaliser un nombre suffisant de lectures.

Le niveau d'humidité relative doit alors être réduit à 40 % ± 5 % de manière contrôlée et les lectures doivent être relevées une fois la chambre stabilisée.

After 4 h the spectrum from a Thorium-228 radionuclides source is again accumulated. The centroid positions are determined and the deviation $\Delta E_{\gamma i}$ from the straight-line approximation of the response curve in the reference conditions is determined. Then the maximum deviation value $\Delta E_{\gamma \max}$ is taken from the number of deviations obtained and the INL value for minimum operating temperature is calculated.

b) Equipment without spectroscopy

With a source suitably placed near the detectors and under standard test conditions take a reading and note this reading. Increase the temperature to 35 °C at a rate not exceeding 10 °C per hour and hold it at that value ± 2 °C. After 4 h take a further reading and note this reading. Reduce the temperature to +10 °C at a rate not exceeding 10 °C per hour and hold it at this value ± 3 °C. After 4 h take a further reading and note the reading.

NOTE Due to the relative size of in vivo counters, testing the entire instrument is difficult. Tests, therefore, should be performed on components that could be susceptible as agreed upon between the manufacturer and the purchaser.

9.5.3.3 Results

a) Equipment fitted with multi-channel analysers

It is considered that the equipment passes the test if at the extreme operating temperatures the error of the response curve does not exceed

- ± 5 % in the case of instrument with a scintillation detector;
- $\pm 0,2$ % in the case of type 3 instruments with germanium semi-conductor detectors.

b) Equipment without spectroscopy

The readings shall be within ± 5 % of the reading under test conditions at the temperature extremes.

9.5.4 Relative humidity

9.5.4.1 Requirements

If the ambient relative humidity levels are greater than the limits stated in Table 1, a performance check should be made prior to use, to ensure operability.

If testing is required the test shall be performed according to 9.5.4.2.

9.5.4.2 Methods of test

Tests are performed using an environmental chamber. The chamber shall be stabilized at 35 °C ± 2 °C and 35 % to 45 % relative humidity. Sufficient readings shall be obtained using guidelines previously stated to establish a pre-test baseline.

The relative humidity level shall then be increased at a controlled rate over a period of time not exceeding 3 h to between 80 % and 90 %. After 48 h have elapsed, a sufficient number of readings shall again be obtained.

The relative humidity level shall then be reduced at a controlled rate to 40 % ± 5 % and readings shall be taken after the chamber has stabilized.

9.5.4.3 Résultats

On considère que l'instrument satisfait à l'essai si l'erreur supplémentaire causée par la température seule par rapport aux caractéristiques de réponse ne dépasse pas $\pm 5\%$ pour tous les instruments, exceptés pour ceux utilisant des détecteurs au germanium pour lesquels l'erreur supplémentaire doit être inférieure à $\pm 0,3\%$.

9.5.5 Champs magnétiques

9.5.5.1 Exigences

L'influence des champs magnétiques de 40 A/m d'origine externe ne doit pas entraîner une variation de la NLI supérieure à $\pm 10\%$ pour les instruments dotés de compteurs à scintillation et de $\pm 0,1\%$ pour les instruments dotés de détecteurs à semi-conducteurs au Germanium.

Pour un équipement sans spectrométrie, l'écart de la réponse doit être inférieur à $\pm 2\%$.

9.5.5.2 Méthode d'essai

S'il peut y avoir présence de champs magnétiques, un essai doit être effectué pour s'assurer de la capacité de fonctionnement des systèmes de mesure in vivo. Il convient que les paramètres réels d'essai fassent l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur.

9.5.6 Pression atmosphérique

La variation de la pression atmosphérique n'affecte pas, en règle générale, le ou les détecteurs et les ensembles électroniques.

S'ils sont demandés, des essais représentatifs avec d'autres valeurs de pression atmosphérique doivent être effectués.

10 Documentation

10.1 Rapport d'essai de type

Sur demande de l'acheteur, le fabricant doit être en mesure de fournir un rapport sur les essais de type effectués conformément aux exigences de la présente norme.

10.2 Certificat

Un certificat doit accompagner chaque instrument et fournir au minimum les informations générales suivantes.

Nom du fabricant et /ou marque déposée

Type du ou des détecteurs

Gamme de mesure d'activité du corps entier et/ou des différents organes

Minimum détectable pour des radioéléments et un bruit de fond donnés

Domaine utile d'énergie pour les photons

Bruit de fond gamma admissible

Radionucléides pour la mesure desquels l'instrument est conçu

Temps de mesure

Longueur de câble maximale admise entre les ensembles

Domaine d'utilisation en température

Dimensions et masse de l'instrument

9.5.4.3 Results

It is considered that the instrument passes the test if the additional error over that due to temperature alone to the response characteristic does not exceed $\pm 5\%$ for all instruments except those using germanium detectors where the additional error shall be $\pm 0,3\%$.

9.5.5 Magnetic fields

9.5.5.1 Requirements

The influence of magnetic fields of external origin of 40 A/m shall not cause a variation of the INL of greater than $\pm 10\%$ for instruments with scintillation counters and $\pm 0,1\%$ for instruments with germanium semi-conductor detectors.

In the case of equipment without spectrometry the change in response shall be less than $\pm 2\%$.

9.5.5.2 Method of test

If magnetic fields may be present, a test shall be performed to ensure the in vivo counters' operability. Actual test parameters should be agreed upon by the manufacturer and the purchaser.

9.5.6 Atmospheric pressure

The variation of atmospheric pressure, in general, does not affect detector(s) and electronic assemblies.

Representative tests at other values of atmospheric pressure shall be performed if required.

10 Documentation

10.1 Type test report

The manufacturer shall make available, at the request of the purchaser a report on the type tests carried out according to the requirements of this standard.

10.2 Certificate

A certificate shall be provided with each instrument, giving at least the following general information.

Manufacturer's name and/or trademark

Type of detector(s)

Effective range of activity measurement of the whole body and/or separate organs

Minimum detectable capability for stated background and radionuclides

Effective range of photon energy

Permissible gamma background

Radionuclides for which the instrument is designed to measure

Measuring time

Maximum permissible cable length between any assemblies

Temperature range

Dimensions and mass of the instrument

Déclaration indiquant que cet équipement a été essayé conformément à la présente norme et qu'il satisfait les exigences spécifiées.

Exigences en matière de stockage et de transport

10.3 Fonctionnement et manuel de maintenance

Chaque instrument doit être livré avec un manuel d'utilisation approprié conformément à la CEI 61187.

Tableau 1 – Référence et conditions normales d'essai

Grandeurs d'influence	Conditions de référence ^a	Conditions normales d'essai ^a
Fantôme primaire	Fantôme contenant le radionucléide approprié sous une forme physique appropriée	Fantôme contenant le radionucléide approprié sous une forme physique appropriée
Radionucléide de référence pour les mesures basse énergie	²⁴¹ Am	²⁴¹ Am
Radionucléide de référence pour les mesures haute énergie	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs
Temps de préchauffage (dispositifs électroniques)	30 min	≥ 30 min
Température ambiante	20°C	18°C à 22°C
Humidité relative	65 %	50 % à 75 %
Pression atmosphérique	101,3 kPa	86 kPa à 106 kPa
Tension d'alimentation électrique	Tension d'alimentation nominale U_N	Alimentation électrique nominale $U_N \pm 1 \%$
Fréquence d'alimentation électrique	Fréquence nominale	Fréquence nominale $\pm 1 \%$
Forme d'onde de l'alimentation électrique	Sinusoïdale	Sinusoïdale avec taux de distorsion harmonique inférieur à 5 %
Bruit de fond du rayonnement gamma	Débit de Kerma dans l'air de $0,2 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$	Débit du Kerma dans l'air de moins de $0,25 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$
Champ magnétique	Négligeable	Moins de deux fois l'induction causée par le champ magnétique terrestre
^a Sauf indication contraire du fabricant.		

Statement that this equipment is tested in accordance with this standard and meets the requirements specified herein.

Storage and transportation requirements

10.3 Operation and maintenance manual

Each instrument shall be supplied with an appropriate instruction manual in accordance with IEC 61187.

Table 1 – Reference and standard test conditions

Influence quantities	Reference conditions ^a	Standard test conditions ^a
Primary phantom	Phantom containing the appropriate radionuclide in the appropriate physical form	Phantom containing the appropriate radionuclide in the appropriate physical form
Reference radionuclide for low-energy measurements	²⁴¹ Am	²⁴¹ Am
Reference radionuclide for high-energy measurements	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs
Warm-up time (Electronic devices)	30 min	≥30 min
Ambient temperature	20°C	18°C to 22°C
Relative humidity	65 %	50 % to 75 %
Atmospheric pressure	101,3 kPa	86 kPa to 106 kPa
Power supply voltage	Nominal supply voltage U_N	Nominal power supply $U_N \pm 1 \%$
Power supply frequency	Nominal frequency	Nominal frequency $\pm 1 \%$
Power supply waveform	Sinusoidal	Sinusoidal with total harmonic distortion lower than 5 %
Gamma radiation background	Air Kerma rate of 0,2 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$	Air Kerma rate of less than 0,25 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$
Magnetic field	Negligible	Less than twice the induction due to the earth's magnetic field.
^a Unless otherwise indicated by manufacturer.		

Tableau 2 – Mesure in vivo de basse énergie avec détecteurs à scintillation

Caractéristiques	Types de système in vivo		Paragraphe de référence
	1	2	
Erreur relative intrinsèque %	±25	±30	8.4.1
Linéarité %	±25	±25	8.4.2
Gamme d'énergie keV	10-200	10-200	8.4.3, 6.1
Non-linéarité intégrale, inférieure à %	±0,5	±0,5	8.4.4, 6.5
Rendement %	a	a	8.4.5
Niveau du bruit de fond s ⁻¹	a	a	8.4.6
Activité minimum détectable Bq	a	a	8.4.7
Taux de comptage maximum, supérieur à s ⁻¹	5×10 ⁴	5×10 ⁴	8.4.8
Stabilité dans le temps de l'amplitude de la réponse en impulsion (pour un fonctionnement continu de 24 h), pas supérieure à %	±2,0	±2,0	8.4.9
Résolution en énergie de l'Am-241 avec la raie de 59,54 keV	a	a	8.4.10, 6.4
Compatibilité électromagnétique	Conformément à 8.5.2		8.5.2
Instabilité en température de la non-linéarité intégrale (de +10°C à +35 °C), inférieure à %/10 °C	±5	±5	8.5.3
Instabilité de la non-linéarité intégrale avec une humidité relative (de 20 % à 80 % à 35 °C), inférieure à %	±5	±5	8.5.4
Instabilité de la non-linéarité intégrale causée par un champ magnétique d'origine externe 40 A·m ⁻¹ , inférieure à %	±10	±10	8.5.5
Pression atmosphérique ^b	–	–	8.5.6
^a Convient d'être mentionnée par le fabricant pour chaque type de système de mesure in vivo. ^b La plage de variation de la pression atmosphérique et les limites tolérées de la variation caractéristique doivent être définies par accord entre le fabricant et l'acheteur.			