

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
61453**

Première édition
First edition
1997-03

Instrumentation nucléaire –

**Equipements avec détecteurs en iodure
de sodium activés au thallium pour
le dosage de radionucléides –
Etalonnage et mise en œuvre**

Nuclear instrumentation –

**Thallium activated sodium iodide detector
systems for assay of radionuclides –
Calibration and usage**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61453: 1997

Validité de la présente publication

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 la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

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 the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61453

Première édition
First edition
1997-03

Instrumentation nucléaire –

**Equipements avec détecteurs en iodure
de sodium activés au thallium pour
le dosage de radionucléides –
Etalonnage et mise en œuvre**

Nuclear instrumentation –

**Thallium activated sodium iodide detector
systems for assay of radionuclides –
Calibration and usage**

© IEC 1997 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
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

P

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application	6
2 Références normatives	6
3 Définitions	8
4 Procédure	10
4.1 Equipements de comptage total	10
4.2 Equipements à analyseur monocanal	14
4.3 Equipements à analyseur multicanal	18
5 Sources d'erreur et incertitudes	22
6 Précautions	24
6.1 Dosage d'un radionucléide pour lequel aucun étalon n'est disponible	24
6.2 Dosage d'un mélange de radionucléides	24
6.3 Détecteurs à fenêtre mince	24
6.4 Taux de comptage	24
6.5 Facteurs de correction liés à la géométrie	26
6.6 Statistiques de comptage et dynamique de mesure	26
6.7 Corrections de temps mort	26
6.8 Correction de décroissance pendant la durée du comptage	28
6.9 Géométrie de comptage	30
6.10 Caractéristiques spectrales	30
6.11 Courbe (ou fonction) d'efficacité dans le pic d'énergie totale en fonction de l'énergie ..	30
6.12 Taux de comptage net	30
6.13 Effets de la température	30
6.14 Linéarité	30

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Definitions	9
4 Procedure	11
4.1 Total spectrum counting systems	11
4.2 Single-channel analyzer (SCA) counting systems	15
4.3 Multichannel analyzer (MCA) counting systems	19
5 Sources of error and uncertainty	23
6 Precautions	25
6.1 Assay for a radionuclide for which no radioactivity standard is readily available	25
6.2 Assay of mixtures of radionuclides	25
6.3 Thin-window detectors	25
6.4 Count rates	25
6.5 Geometric correction factors	27
6.6 Counting statistics and range of measurement	27
6.7 Dead-time corrections	27
6.8 Correction for decay during the counting period	29
6.9 Counting geometry	31
6.10 Spectral features	31
6.11 Full-energy peak efficiency versus energy function or curve	31
6.12 Net count rate	31
6.13 Temperature effects	31
6.14 Linearity	31

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE – ÉQUIPEMENTS AVEC DÉTECTEURS EN IODURE DE SODIUM ACTIVÉS AU THALLIUM POUR LE DOSAGE DE RADIONUCLÉIDES – ÉTALONNAGE ET MISE EN OEUVRE

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. 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 61453 a été établie par le comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45/397/FDIS	45/409/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.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**NUCLEAR INSTRUMENTATION –
THALLIUM ACTIVATED SODIUM IODIDE DETECTOR SYSTEMS
FOR ASSAY OF RADIONUCLIDES –
CALIBRATION AND USAGE**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61453 has been prepared by IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

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

FDIS	Report on voting
45/397/FDIS	45/409/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.

INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE – ÉQUIPEMENTS AVEC DÉTECTEURS EN IODURE DE SODIUM ACTIVÉS AU THALLIUM POUR LE DOSAGE DE RADIONUCLÉIDES – ÉTALONNAGE ET MISE EN OEUVRE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale établit les méthodes de contrôle de bon fonctionnement, d'étalonnage, et de mise en œuvre d'équipements avec détecteur NaI(Tl) pour la mesure de l'énergie des rayonnements gamma et des taux d'émission gamma de radionucléides, ainsi que le dosage de la radioactivité.

La présente norme donne une méthode de base pour l'étalonnage et la mise en œuvre d'équipements avec détecteur NaI(Tl) destinés à la mesure du taux d'émission gamma de radionucléides. L'identification des radionucléides et leur dosage dans diverses applications industrielles, environnementales et médicales constituent des applications types. Un équipement avec détecteur en iodure de sodium activé au thallium comporte trois composantes majeures: un milieu scintillant qui produit un photon lumineux lorsqu'un rayonnement ionisant interagit avec lui, un ou plusieurs photomultiplicateurs ou photodiodes couplés au scintillateur qui convertit le photon lumineux en impulsion électrique amplifiée, et une instrumentation électrique associée qui alimente le photomultiplicateur et traite le signal de sortie.

La norme couvre à la fois l'étalonnage en énergie et l'étalonnage en efficacité. Les trois techniques suivantes sont considérées:

- a) comptage total (voir 4.1) qui utilise un équipement comptant toutes les impulsions au-dessus d'un seuil à basse énergie (voir 6.1, 6.2 et 6.3);
- b) comptage avec analyseur monocanal (voir 4.2) qui utilise un équipement comportant une fenêtre de comptage qui détermine des limites haute et basse en énergie (voir 6.1, 6.2 et 6.3);
- c) comptage avec analyseur multicanal (voir 4.3) qui utilise un équipement avec de multiples fenêtres en énergie. Cette technique permet des mesures où le fond continu sous le pic d'énergie totale peut être soustrait sans introduire d'erreur inacceptable. Dans le cas de pics non résolus qui se chevauchent, il est nécessaire d'utiliser un analyseur multicanal possédant un programme de déconvolution du spectre. Ce cas n'est pas traité dans la présente norme.

2 Références normatives

Le document normatif suivant contient des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente du document normatif indiqué ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 462: 1974, *Méthodes d'essais normalisées des tubes photomultiplicateurs utilisés dans les ensembles de comptage à scintillation*

NUCLEAR INSTRUMENTATION – THALLIUM ACTIVATED SODIUM IODIDE DETECTOR SYSTEMS FOR ASSAY OF RADIONUCLIDES – CALIBRATION AND USAGE

1 Scope

This International Standard establishes methods for performance testing, calibration and usage of NaI(Tl) detector systems for the measurement of gamma-ray energies and emission rates of radionuclides and the assay for radioactivity.

This standard provides a standardized basis for the calibration and usage of sodium iodide detector systems for the measurement of gamma-ray emission rates of radionuclides. Typical applications include radionuclide identification and assay in various industrial, environmental, and medical applications. A thallium activated sodium iodide detector system consists of three major components: a scintillating medium that produces photons of light when ionizing radiation interacts with it; one or more photomultipliers or photodiodes, optically coupled to the scintillator, which converts the light photons to an amplified electrical pulse or pulses; and associated electronic instrumentation which powers the photomultiplier and processes the output signal.

Both energy calibration and efficiency calibration are covered. The following three techniques are considered:

- a) total spectrum counting (see 4.1) which employs a system that counts all pulses above a low-energy threshold (see 6.1, 6.2 and 6.3);
- b) single-channel analyzer counting (see 4.2) which employs a system with a counting window which establishes upper and lower energy boundaries (see 6.1, 6.2, and 6.3);
- c) multichannel analyzer counting (see 4.3) which employs a system in which multiple counting windows are utilized. This technique allows measurements for which the continuum under the full-energy peak may be subtracted without introducing unacceptable error. In case of overlapping peaks in the spectrum, it is realized that a multichannel analyzer (MCA) with access to a spectrum-stripping program is necessary. This case is not covered by this standard.

2 Normative references

The following normative document contains provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the edition indicated was valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the normative document indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 462: 1974, *Standard test procedures for photomultiplier tubes for scintillation counting*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent.

3.1 exactitude: Degré d'accord entre valeur de la mesure et valeur vraie de la quantité à mesurer.

3.2 activité (d'un radionucléide): Quotient dN sur dt , où dN est, à un instant donné, la valeur attendue du nombre de transitions nucléaires issues d'un niveau nucléaire donné pendant l'intervalle de temps dt .

3.3 dosage: Détermination de l'activité d'un radionucléide dans un échantillon.

3.4 bruit de fond ambiant: Chocs observés, et dont il faudra tenir compte, lors de la mesure d'un échantillon identique en tous points à l'échantillon inconnu, excepté qu'il n'est pas radioactif. Ces chocs sont attribuables à la radioactivité environnante du détecteur lui-même, du matériau de blindage du détecteur, du récipient contenant l'échantillon, ainsi qu'aux rayons cosmiques, aux impulsions de bruit électronique, etc.

3.5 source de contrôle: Source radioactive, non nécessairement étalonnée, utilisée pour confirmer que l'instrument continue à fonctionner correctement.

3.6 sommation gamma corrélée: Détection simultanée de deux ou plusieurs photons gamma provenant d'une même désintégration d'un atome.

3.7 temps mort t_d : Durée après son déclenchement par une impulsion pendant laquelle l'instrument ne peut être redéclenché.

3.8 efficacité: Nombre net de chocs enregistré par le système de détection, par unité de temps, divisé par le nombre de photons d'intérêt émis par la source radioactive pendant la même unité de temps.

3.9 étalonnage en énergie: Relation entre l'amplitude de l'impulsion à la sortie de l'amplificateur et l'énergie du photon correspondant émis par la source radioactive.

3.10 pic d'énergie totale: Dans un spectre d'amplitude, pic correspondant à l'absorption totale d'un photon gamma dans le détecteur NaI(Tl).

3.11 efficacité dans le pic d'énergie totale: Nombre net de chocs enregistrés dans le pic d'énergie totale, par unité de temps, divisé par le nombre de photons d'intérêt émis par la source radioactive pendant la même unité de temps.

3.12 LTMH (largeur totale à mi-hauteur): Sur une courbe représentant une distribution et comportant un pic unique, différence entre les abscisses des deux points de la courbe dont l'ordonnée est égale à la moitié de l'ordonnée du sommet du pic.

NOTE – Si la courbe considérée comporte plusieurs pics, une largeur totale à mi-hauteur existe pour chaque pic.

3.13 temps actif: Somme des intervalles de temps incrémentaux pendant lesquels l'analyseur prend en compte les signaux d'entrée.

3 Definitions

For the purposes of this International Standard, the following definitions apply.

3.1 accuracy: Degree of agreement of the measurement value with the true value of the quantity being measured.

3.2 activity (of a radionuclide): Quotient of dN by dt , where dN is the expectation value of the number of spontaneous nuclear transitions from a particular energy state at a given time, in the time interval dt .

3.3 assay: Determination of the activity of a radionuclide in a sample.

3.4 ambient background: Those counts that can be observed, and thereby allowed for, by measuring a sample that is identical to the unknown sample in all respects except for the absence of radioactivity. These counts are attributable to environmental radioactivity in the detector itself, in the detector shielding material and in the sample container; cosmic rays; electronic noise pulses; etc.

3.5 check source: A radioactive source, not necessarily calibrated, which is used to confirm the continuing satisfactory operation of an instrument.

3.6 correlated gamma-ray summing: Simultaneous detection of two or more gamma rays originating from a single atom disintegration.

3.7 dead time t_d : Time after the system is triggered during which the system is unable to retrigger.

3.8 efficiency: Net number of counts registered by the detector system per unit of time divided by the number of photons of interest originating in the radioactive source during the same unit of time.

3.9 energy calibration: Relationship between the height of the amplifier output pulse and the energy of the photons originating in the radioactive source.

3.10 full-energy peak: Peak in a pulse-height spectrum that corresponds to total absorption of a gamma photon in the NaI(Tl) detector.

3.11 full-energy peak efficiency: Net number of counts registered by the full-energy peak per unit of time divided by the number of photons of interest originating in the radioactive source during the same unit of time.

3.12 FWHM (full width at half maximum): In a distribution curve comprising a single peak, the distance between the abscissa of two points on the curve whose ordinates are half of the maximum ordinate of the peak.

NOTE – If the curve considered comprises several peaks, a full width at half maximum exists for each peak.

3.13 live time: Sum of the incremental time intervals during which the analyzer is sensitive to input signals.

3.14 précision: Degré d'agrément de mesures répétitives d'une même grandeur, exprimé quantitativement comme l'écart quadratique moyen calculé à partir des résultats de séries de mesures.

3.15 résolution en amplitude: LTMH de la distribution d'un pic gamma, mesurée après soustraction du bruit de fond ambiant, et exprimée en pourcentage de l'amplitude des impulsions correspondant au sommet de la distribution.

3.16 source radioactive étalon: Etalon de radioactivité, dont l'activité absolue a été certifiée par un laboratoire national de normalisation pour les mesures radioactives, ou étalon de radioactivité obtenu d'un fournisseur agréé par le laboratoire national de normalisation, lorsque de tels étalons sont disponibles. Dans ce dernier cas il convient que la valeur de l'étalonnage, avec son incertitude donnée par le fournisseur, soit conforme à celle du laboratoire national de normalisation lors de la certification d'un même lot de sources ou de la certification de sources identiques.

3.17 sommation aléatoire de photons: Détection simultanée de deux ou plusieurs photons provenant de désintégrations d'atomes différents.

3.18 réponse: Nombre total de chocs enregistré par le système de détection par unité de temps, divisé par l'activité du radionucléide.

3.19 source simulée: Source radioactive comportant un ou plusieurs radionucléides à vie longue choisis afin de simuler les rayonnements d'un radionucléide d'intérêt à vie courte ou non disponible.

3.20 largeur de fenêtre: Différence entre seuils haut et bas du discriminateur.

4 Procédure

4.1 Equipements de comptage total

4.1.1 Généralités

Tous les instruments doivent être installés et mis en œuvre conformément aux instructions du fabricant (voir article 6). L'activité d'un radionucléide ne peut être déterminée que si l'équipement a été étalonné à l'aide d'une source étalon (ou d'une source étalon simulée) du radionucléide à doser, en l'absence d'autres radionucléides.

4.1.2 Etalonnage de la réponse du système

4.1.2.1 Régler le discriminateur bas-niveau à une valeur telle que les conditions suivantes soient satisfaites.

- a) Les rayonnements gamma d'intérêt sont effectivement comptés.
- b) La réponse du système est aussi peu sensible que possible à de petites variations dans le réglage du discriminateur.
- c) Tout bruit électronique est en dessous du seuil de comptage.

4.1.2.2 Pour chaque radionucléide d'intérêt, accumuler un spectre à l'aide d'une source radioactive étalon, dans la géométrie reproductible désirée (voir 6.5). Il convient d'accumuler au moins 10 000 chocs nets (voir 6.4 et 6.6).

3.14 precision: Degree of agreement of repeated measurements of the same property, expressed quantitatively as the standard deviation computed from the results of the series of measurements.

3.15 pulse-height resolution: Measured FWHM, after ambient background subtraction, of a gamma-ray peak distribution, expressed as a percentage of the pulse height corresponding to the peak of the distribution.

3.16 radioactivity standard source: A radioactivity standard, that has been certified as to absolute activity by a laboratory recognized as a country's national standardizing laboratory for radioactivity measurements, or a radioactivity standard that has been obtained from a supplier who participates in measurement assurance activities with the national standardizing laboratory when such standards are available. In the latter case, the supplier's activity calibration value should agree with the national standardizing laboratory value within the overall uncertainty stated by the supplier in its certification of the same batch of sources or in its certification of similar sources.

3.17 random photon summing: Simultaneous detection of two or more photons originating from the disintegrations of more than one atom.

3.18 response: Net number of counts registered by the detector system per unit of time divided by the activity of the radionuclide.

3.19 simulated source: Radioactive source consisting of one or more long-lived radionuclides that are chosen to simulate the radiations from a short-lived or unavailable radionuclide of interest.

3.20 window width: Difference between the upper level and lower level discriminator settings.

4 Procedure

4.1 Total spectrum counting systems

4.1.1 General

All instruments shall be installed and operated in accordance with the manufacturer's instructions (see clause 6). The activity of a radionuclide can only be determined if the instrument has been calibrated with a standard source (or simulated standard source) of the radionuclide being assayed and in the absence of other radionuclides.

4.1.2 System response calibration

4.1.2.1 Set the low-level discriminator to a value such that the following conditions are satisfied.

- a) The gamma rays of interest are being counted.
- b) The system response is as insensitive as possible to small changes in discriminator setting.
- c) Any significant electronic noise is below the counting threshold.

4.1.2.2 For each radionuclide of interest, accumulate counts using a radioactivity standard source in the reproducible counting geometry desired (see 6.5). At least 10 000 net counts should be accumulated (see 6.4 and 6.6).

4.1.2.3 Effectuer la correction de temps mort comme indiqué en 6.7.

4.1.2.4 Déterminer le taux de comptage net par soustraction du bruit de fond ambiant du taux de comptage total. Les mêmes réglages de l'équipement doivent être utilisés pour les deux comptages.

4.1.2.5 Effectuer la correction de décroissance de l'activité de la source radioactive étalon depuis l'instant de son étalonnage jusqu'à l'instant auquel la mesure de taux de comptage est effectuée (voir 6.8).

4.1.2.6 Calculer la réponse R comme suit:

$$R = C/A$$

où

C est le taux de comptage net (de 4.1.2.4);

A est l'activité de l'étalon radioactif (de 4.1.2.5).

4.1.3 *Détermination de l'activité* (voir 6.1 et 6.2)

4.1.3.1 Avec les mêmes réglages de l'équipement qu'en 4.1.2, placer l'échantillon à mesurer dans la même géométrie que celle utilisée pour l'étalonnage de la réponse en activité (voir 6.5 et 6.9).

4.1.3.2 Accumuler un nombre suffisant de chocs pour obtenir la précision statistique désirée (voir 6.4 et 6.6).

4.1.3.3 Corriger le taux de comptage du temps mort comme indiqué en 6.7.

4.1.3.4 Déterminer le taux de comptage net de l'échantillon en soustrayant le taux de comptage du bruit de fond ambiant du taux de comptage total (voir 6.8).

4.1.3.5 Calculer l'activité A de l'échantillon par

$$A = C/R$$

où

C est le taux de comptage net (de 4.1.3.4);

R est la réponse (de 4.1.2.6).

4.1.4 *Contrôle de bon fonctionnement*

4.1.4.1 La vérification de l'étalonnage de la réponse de l'équipement doit être contrôlée au moins une fois par semaine d'utilisation à l'aide d'au moins une source de contrôle, d'un radionucléide à vie longue, avec des énergies réparties sur la région d'intérêt. Il est nécessaire d'effectuer la correction de décroissance radioactive de la source depuis son étalonnage d'origine.

4.1.4.2 L'étalonnage de la réponse doit être contrôlé au moins tous les six mois à l'aide de sources radioactives étalons de radionucléides ayant des énergies réparties sur la région d'intérêt.

4.1.4.3 Le bruit de fond ambiant du système doit être mesuré immédiatement avant et après chaque lot d'échantillons. Il doit être également mesuré périodiquement, au moins une fois par semaine d'utilisation.

4.1.2.3 Correct for dead time as described in 6.7.

4.1.2.4 Obtain the net count rate by subtracting the ambient background count rate from the total count rate. The same instrument settings shall be used for both counts.

4.1.2.5 Correct for decay of the radioactivity standard source activity from the time of standardization to the time at which the count rate is measured (see 6.8).

4.1.2.6 Calculate the response R as follows:

$$R = C/A$$

where

C is the net count rate (from 4.1.2.4);

A is the activity of the radioactivity standard (from 4.1.2.5).

4.1.3 *Activity determination* (see 6.1 and 6.2)

4.1.3.1 Using the instrument settings of 4.1.2, place the sample to be measured in the same counting geometry that was used for the activity response calibration (see 6.5 and 6.9).

4.1.3.2 Accumulate enough counts to obtain the desired statistical level of accuracy (see 6.4 and 6.6).

4.1.3.3 Correct the count rate for dead time as described in 6.7.

4.1.3.4 Obtain the net count rate for the sample by subtracting the ambient background count rate from the total count rate (see 6.8).

4.1.3.5 Calculate the activity A of the sample by

$$A = C/R$$

where

C is the net count rate (from 4.1.3.4);

R is the response (from 4.1.2.6).

4.1.4 *Performance testing*

4.1.4.1 Reproducibility tests shall be performed by checking the system response calibration at least once in each week of use with at least one long-lived radioactive check source with energies that span the region of interest. Correction for radioactive decay of the source since its original measurement shall be applied.

4.1.4.2 The response calibration shall be checked at least semiannually by using radioactive standard sources of radionuclides that span the energy region of interest.

4.1.4.3 The ambient background of the system shall be measured immediately before and after each batch of samples. The ambient background shall also be measured periodically, at least once in each week of use.

Lors de dosages précis de matériaux radioactifs dont l'activité est seulement légèrement supérieure au bruit de fond, il convient de déterminer ce dernier en effectuant un nombre suffisant de mesures, avec des durées de comptage suffisantes, afin de minimiser l'erreur associée au taux de comptage du bruit de fond.

4.1.4.4 Les résultats de tous les contrôles de bon fonctionnement doivent être consignés, de manière à déceler rapidement tout écart par rapport à la normale. Lorsque les valeurs tombent en dehors de limites prédéterminées, des mesures appropriées doivent être prises incluant, suivant le cas, la confirmation, le dépannage, ou le réétalonnage.

4.2 Equipements à analyseur monocanal

4.2.1 Généralités

Tous les instruments doivent être installés et mis en œuvre conformément aux instructions du fabricant (voir article 6).

4.2.2 Etalonnage en énergie

Réaliser l'étalonnage en énergie de l'équipement sur la gamme d'énergie souhaitée, pour un gain donné. A l'aide de sources d'énergie connues, déterminer la relation entre les énergies gamma et les réglages correspondants des seuils des discriminateurs haut-niveau et bas-niveau. Mesurer le taux de comptage en fonction du réglage du discriminateur bas-niveau, avec des incréments d'énergie ne dépassant pas 2 % de la gamme d'énergie d'intérêt. Il convient de maintenir la largeur de la fenêtre constante et approximativement égale aux incréments de réglage du discriminateur bas-niveau. Le centre de la fenêtre correspondant au taux de comptage maximum pourra être considéré comme le centre du pic d'énergie totale. L'étalonnage en énergie doit être réalisé pour chaque réglage du gain de l'amplificateur et chaque valeur de la haute tension du photomultiplicateur utilisés. Il convient que l'étalonnage en énergie soit réalisé avec les mêmes radionucléides que ceux qui sont à mesurer. Si cela n'est pas réalisable, on doit utiliser des radionucléides avec des photons gamma couvrant la gamme d'intérêt (voir 6.14).

4.2.3 Etalonnage en efficacité dans le pic d'énergie totale

4.2.3.1 Le seuil de discrimination bas-niveau et la largeur de la fenêtre doivent être réglés de manière à inclure le ou les pics d'énergie totale d'intérêt et pour minimiser les variations du taux de comptage dues à des dérives de gain.

4.2.3.2 Pour chaque radionucléide d'intérêt effectuer un comptage avec une source radioactive étalon et dans la géométrie reproductible souhaitée (voir 6.5). Il convient d'accumuler un comptage net d'au moins 10 000 chocs (voir 6.4 et 6.6).

4.2.3.3 Effectuer la correction de temps mort comme décrit en 6.7.

4.2.3.4 Déterminer le taux de comptage net en soustrayant le taux de comptage du bruit ambiant du taux de comptage total. Les réglages de l'instrument doivent être les mêmes pour les deux comptages.

4.2.3.5 Effectuer la correction de décroissance de l'activité de la source radioactive gamma étalon depuis l'instant de son étalonnage jusqu'à l'instant auquel la mesure de taux de comptage est effectuée (voir 6.8).

For accurate assays of radioactive materials whose activities are only slightly above background, the system background should be determined using a sufficient number of background readings and using counting times of sufficient length so as to minimize the uncertainty associated with the background count rate.

4.1.4.4 The results of all performance checks shall be recorded in such a way that deviations from the norm will be readily observable. Appropriate action, which could include confirmation, repair and recalibration as required, shall be taken when the measured values fall outside of predetermined limits.

4.2 *Single-channel analyzer (SCA) counting systems*

4.2.1 *General*

All instruments shall be installed and operated in accordance with the manufacturer's instructions (see clause 6).

4.2.2 *Energy calibration*

Establish the energy calibration of the system over the desired energy region at a fixed gain. Using sources of known energy, determine the relationship between the gamma-ray energies and the corresponding settings of the upper level and lower level discriminators. Measure the count rate as a function of the lower level discriminator setting at gamma-ray energy increments of not more than 2 % of the energy range of interest. The window width should be held constant and approximately equal to the increments of the lower level discriminator setting. The centre of the window position corresponding to the highest count rate may be assumed to be the centre of the full-energy peak. The energy calibration shall be determined for each amplifier gain and photomultiplier high-voltage setting used. Radionuclides for which assays will be performed should be used for the energy calibration. If that is not practical, radionuclides with gamma rays that span the energy region of interest shall be used (see 6.14).

4.2.3 *Full-energy peak efficiency calibration*

4.2.3.1 The lower level discriminator and the window width shall be set to include the full-energy peak(s) of interest and to minimize variations in counting rate due to gain change.

4.2.3.2 For each radionuclide of interest, accumulate counts using a radioactivity standard source in a desired and reproducible counting geometry (see 6.5). At least 10 000 net counts should be accumulated (see 6.4 and 6.6).

4.2.3.3 Correct for dead time as described in 6.7.

4.2.3.4 Obtain the net count rate by subtracting the ambient background count rate from the total count rate. The same instrument settings shall be used for both counts.

4.2.3.5 Correct the radioactivity standard source gamma-ray emission rate for decay from the time of standardization to the time at which the count rate is measured (see 6.8).

4.2.3.6 Calculer l'efficacité dans le pic d'énergie totale E pour chaque énergie gamma comme suit:

$$E = C/G$$

où

C est le taux de comptage net (de 4.2.3.4);

G est le taux d'émission gamma de l'étalon radioactif (de 4.2.3.5).

Si la source radioactive étalon est étalonnée en activité, le taux d'émission gamma est donné par

$$G = AP$$

où

A est l'activité;

P est la probabilité d'émission du photon gamma d'intérêt par désintégration.

4.2.4 Détermination de l'activité (voir 6.1 et 6.2)

4.2.4.1 Avec les mêmes réglages de l'équipement qu'en 4.2.3, placer l'échantillon à mesurer dans la même géométrie que celle utilisée pour l'étalonnage en efficacité (voir 6.5 et 6.9).

4.2.4.2 Accumuler un nombre suffisant de chocs pour obtenir la précision statistique désirée (voir 6.4 et 6.6).

4.2.4.3 Corriger le taux de comptage du temps mort comme indiqué en 6.7.

4.2.4.4 Déterminer le taux de comptage net de l'échantillon en soustrayant le taux de comptage du bruit de fond ambiant du taux de comptage total (voir 6.8 et 6.10).

4.2.4.5 Calculer le taux d'émission gamma de l'échantillon par

$$G = C/E$$

où

C est le taux de comptage net (de 4.2.4.4);

E est l'efficacité dans le pic d'énergie totale (de 4.2.3.6).

Si on calcule l'activité, il faut connaître le nombre de photons gamma émis par désintégration, soit

$$A = G/P$$

où

A est l'activité;

P est la probabilité d'émission du photon gamma d'intérêt.

4.2.5 Contrôle de bon fonctionnement

4.2.5.1 L'étalonnage en énergie du système doit être contrôlé chaque jour d'utilisation à l'aide d'une ou plusieurs sources de contrôle émettant des gamma dans la gamme d'énergie d'intérêt.

4.2.3.6 Calculate the full-energy peak efficiency E for each gamma-ray energy as follows:

$$E = C/G$$

where

C is the net count rate (from 4.2.3.4);

G is the gamma-ray emission rate of the radioactivity standard (from 4.2.3.5).

If the radioactivity standard source is calibrated as to activity, the gamma-ray emission rate is given by

$$G = AP$$

where

A is the activity;

P is the emission probability (of the gamma ray of interest) per disintegration.

4.2.4 Activity determination (see 6.1 and 6.2)

4.2.4.1 Using the instrument settings of 4.2.3, place the sample to be measured in the same counting geometry that was used for the efficiency calibration (see 6.5 and 6.9).

4.2.4.2 Accumulate enough counts to obtain the desired statistical level of accuracy (see 6.4 and 6.6).

4.2.4.3 Correct the count rate for dead time as described in 6.7.

4.2.4.4 Obtain the net count rate for the sample by subtracting the ambient background count rate from the total count rate (see 6.8 and 6.10).

4.2.4.5 Calculate the gamma-ray emission rate of the sample by

$$G = C/E$$

where

C is the net count rate (from 4.2.4.4);

E is the full-energy peak efficiency (from 4.2.3.6).

When calculating an activity, the number of gamma rays emitted per disintegration is required, so that

$$A = G/P$$

where

A is the activity;

P is the emission probability (of the gamma ray of interest).

4.2.5 Performance testing

4.2.5.1 The system energy calibration shall be checked on each day of use with one or more check sources emitting gamma rays in the energy range of interest.

4.2.5.2 La résolution en énergie du système doit être déterminée au moment de l'installation initiale et contrôlée au moins une fois par semaine d'utilisation.

4.2.5.3 La vérification de l'étalonnage en efficacité de l'équipement doit être contrôlée au moins une fois par semaine d'utilisation à l'aide d'au moins une source de contrôle d'un radionucléide à vie longue, avec des énergies réparties sur la région d'intérêt. Il est nécessaire d'effectuer la correction de décroissance radioactive de la source depuis son étalonnage d'origine.

4.2.5.4 L'étalonnage en efficacité doit être contrôlé au moins tous les six mois à l'aide de sources radioactives étalons avec des énergies réparties sur la région d'intérêt.

4.2.5.5 Le bruit de fond ambiant du système doit être mesuré immédiatement avant et après chaque lot d'échantillons. Il doit être également mesuré périodiquement, au moins une fois par semaine d'utilisation.

Lors de dosages précis de matériaux radioactifs dont l'activité est seulement légèrement supérieure au bruit de fond, il convient de déterminer ce dernier en effectuant un nombre suffisant de mesures, avec des durées de comptage suffisantes, afin de minimiser l'erreur associée au taux de comptage du bruit de fond.

4.2.5.6 Les résultats de tous les contrôles de bon fonctionnement doivent être consignés, de manière à déceler rapidement tout écart par rapport à la normale. Lorsque les valeurs tombent en dehors de limites prédéterminées, des mesures appropriées doivent être prises incluant, suivant le cas, la confirmation, le dépannage ou le réétalonnage.

4.3 *Equipements à analyseur multicanal*

4.3.1 *Généralités*

Tous les instruments doivent être installés et mis en œuvre conformément aux instructions du fabricant (voir 6.3).

4.3.2 *Etalonnage en énergie*

Réaliser l'étalonnage en énergie de l'équipement sur la gamme d'énergie souhaitée, pour un gain donné. A l'aide de sources d'énergie connue, enregistrer un spectre incluant des pics d'énergie totale couvrant la gamme d'intérêt. Déterminer les numéros de canaux correspondant à deux énergies gamma situées près de chaque extrémité de la gamme d'énergie d'intérêt. A partir de ces données, déterminer la pente, ainsi que le décalage de zéro de la courbe d'étalonnage. Pour la plupart des applications une telle courbe linéaire d'étalonnage sera acceptable. L'étalonnage en énergie doit être réalisé pour chaque gain de l'amplificateur et chaque valeur de la haute tension du photomultiplicateur utilisés (voir 6.14).

4.3.3 *Etalonnage en efficacité dans le pic d'énergie totale* (voir 6.11)

4.3.3.1 Accumuler un spectre gamma à l'aide de sources étalons dans la géométrie de comptage reproductible souhaitée (voir 6.5). Il convient d'avoir un comptage net d'au moins 10 000 chocs dans chacun des pics gamma d'énergie totale d'intérêt (voir 6.4 et 6.6).

4.3.3.2 Enregistrer la durée du temps de comptage actif (voir 6.4 et 6.7).

4.3.3.3 Pour chaque source radioactive étalon, déterminer le comptage net dans les pics gamma d'énergie totale d'intérêt (voir 6.12).

4.2.5.2 The pulse-height resolution of the system shall be determined at the time of initial installation and checked at least once in each week of use.

4.2.5.3 Reproducibility tests shall be performed by checking the efficiency calibration at least once in each week of use with at least one long-lived radioactive check source with energies that span the region of interest. Correction for radioactive decay of the source since its original measurement shall be applied.

4.2.5.4 The efficiency calibration shall be checked at least semiannually by using radioactive standard sources of radionuclides that span the energy region of interest.

4.2.5.5 The ambient background of the system shall be measured immediately before and after each batch of samples. The ambient background shall also be measured periodically, at least once in each week of use.

For accurate assays of radioactive materials whose activities are only slightly above background, the system background should be determined using a sufficient number of background readings and using counting times of sufficient length so as to minimize the uncertainty associated with the background count rate.

4.2.5.6 The results of all performance checks shall be recorded in such a way that deviations from the norm will be readily observable. Appropriate action, which could include confirmation, repair and recalibration as required, shall be taken when the measured values fall outside of predetermined limits.

4.3 *Multichannel analyzer (MCA) counting systems*

4.3.1 *General*

All instruments shall be installed and operated in accordance with the manufacturer's instructions (see 6.3).

4.3.2 *Energy calibration*

Establish the energy calibration of the system over the desired energy region at a fixed gain. Using sources of a known energy, record a spectrum containing full-energy peaks which span the gamma-ray energy region of interest. Determine the channel numbers which correspond to two gamma-ray energies that are near the extremes of the energy region of interest. From those data, determine the slope and the intercept of the energy calibration curve. For most applications, such a linear energy calibration curve will be adequate. The energy calibration shall be determined for each amplifier gain and photomultiplier high-voltage setting used (see 6.14).

4.3.3 *Full-energy peak efficiency calibration* (see 6.11)

4.3.3.1 Accumulate gamma-ray spectra using radioactivity standard sources in a desired and reproducible counting geometry (see 6.5). At least 10 000 net counts should be accumulated in each full-energy gamma-ray peak of interest (see 6.4 and 6.6).

4.3.3.2 Record the live-time counting interval (see 6.4 and 6.7).

4.3.3.3 For each radioactivity standard source, determine the net counts in the full-energy gamma-ray peaks of interest (see 6.12).

4.3.3.4 Effectuer la correction de décroissance de l'activité de la source radioactive étalon depuis l'instant de son étalonnage jusqu'à l'instant auquel la mesure de taux de comptage est effectuée (voir 6.8).

4.3.3.5 Calculer l'efficacité dans le pic d'énergie totale E pour chaque énergie gamma comme suit:

$$E = C/G$$

où

C est le taux de comptage net dans le pic d'énergie totale (de 4.3.3.2 et 4.3.3.3);

G est le taux d'émission gamma de l'étalon radioactif (de 4.3.3.4).

Si la source radioactive étalon est calibrée en activité, le taux d'émission gamma est donné par

$$G = AP$$

où

A est l'activité;

P est la probabilité d'émission du photon gamma d'intérêt par désintégration.

4.3.3.6 Pour obtenir l'étalonnage en efficacité dans le pic d'énergie totale à des énergies pour lesquelles il n'existe pas de source étalon, on tracera la courbe efficacité dans le pic d'énergie totale (de 4.3.3.5) en fonction de l'énergie gamma, ou on l'approximera par une fonction mathématique appropriée (voir 6.10 et 6.13).

4.3.4 Dosage

4.3.4.1 Avec les mêmes réglages de l'équipement qu'en 4.3.3, placer l'échantillon à mesurer dans la même géométrie que celle utilisée pour l'étalonnage en efficacité (voir 6.5 et 6.9).

4.3.4.2 Accumuler un nombre suffisant de chocs dans le spectre (pour obtenir la précision statistique désirée (voir 6.4 et 6.6)).

4.3.4.3 Noter les durées de temps de comptage actif (voir 6.7 et 6.4).

4.3.4.4 Déterminer l'énergie des photons gamma présents en utilisant l'étalonnage en énergie effectué en 4.3.2.

4.3.4.5 Déterminer le taux de comptage net dans chacun des pics gamma d'énergie totale d'intérêt (voir 6.8, 6.10 et 6.12) en divisant le comptage net par le temps actif.

4.3.4.6 Calculer le taux d'émission gamma pour chaque pic d'énergie totale d'intérêt à l'aide de

$$G = C/E$$

où

C est le taux de comptage net dans le pic d'énergie totale (de 4.3.4.5);

E est l'efficacité (de 4.3.3.5).

4.3.3.4 Correct the radioactivity standard source gamma-ray emission rate for decay from the time of standardization to the time at which the count rate is measured (see 6.8).

4.3.3.5 Calculate the full-energy peak efficiency E for each gamma-ray energy as follows:

$$E = C/G$$

where

C is the net count rate in the full-energy peak (from 4.3.3.2 and 4.3.3.3);

G is the gamma-ray emission rate of the radioactivity standard (from 4.3.3.4).

If the radioactivity standard source is calibrated as to activity, the gamma-ray emission rate is given by

$$G = AP$$

where

A is the activity;

P is the emission probability (of the gamma ray of interest).

4.3.3.6 To obtain full-energy peak efficiency calibration data at energies for which radioactivity standards are not available, plot, or fit an appropriate mathematical function to, the values for the full-energy peak efficiency (from 4.3.3.5) versus gamma-ray energy (see 6.10 and 6.13).

4.3.4 Assay

4.3.4.1 Using the instrument settings of 4.3.3, place the sample to be measured in the same counting geometry that was used for the efficiency calibration (see 6.5 and 6.9).

4.3.4.2 Accumulate enough counts in the gamma-ray spectrum to obtain the desired statistical level of accuracy (see 6.4 and 6.6).

4.3.4.3 Record the live-time counting intervals (see 6.7 and 6.4).

4.3.4.4 Determine the energy of the gamma rays present by the use of the energy calibration data obtained according to 4.3.2.

4.3.4.5 Obtain the net count rate in each full-energy gamma-ray peak of interest (see 6.8, 6.10 and 6.12) by dividing the net counts by the live time.

4.3.4.6 Calculate the gamma-ray emission rate for each full-energy peak of interest as follows:

$$G = C/E$$

where

C is the net count rate in the full-energy peak (from 4.3.4.5);

E is the efficiency (from 4.3.3.5).

A partir des énergies gamma identifiées ainsi que d'autres informations disponibles, identifier les radionucléides présents dans l'échantillon. Si on calcule l'activité de radionucléides spécifiques, il faut connaître le nombre de photons gamma émis par désintégration, soit

$$A = G/P$$

où

A est l'activité;

P est la probabilité d'émission du photon gamma d'intérêt.

4.3.5 *Contrôle de bon fonctionnement*

4.3.5.1 L'étalonnage en énergie du système doit être contrôlé chaque jour d'utilisation à l'aide d'une ou plusieurs sources de contrôle émettant des photons gamma dans la gamme d'énergie d'intérêt.

4.3.5.2 La résolution en énergie du système doit être déterminée au moment de l'installation initiale et contrôlée au moins une fois par semaine d'utilisation.

4.3.5.3 La vérification de l'étalonnage en efficacité de l'équipement doit être contrôlée au moins une fois par semaine d'utilisation à l'aide d'au moins une source de contrôle, d'un radionucléide à vie longue, avec des énergies réparties sur la région d'intérêt. Il est nécessaire d'effectuer la correction de décroissance radioactive de la source depuis son étalonnage d'origine.

4.3.5.4 L'étalonnage en efficacité doit être contrôlé au moins tous les six mois à l'aide de sources radioactives étalons avec des énergies réparties sur la région d'intérêt.

4.3.5.5 Le bruit de fond ambiant du système doit être mesuré immédiatement avant et après chaque lot d'échantillons. Il doit être également mesuré périodiquement, au moins une fois par semaine d'utilisation.

Lors de dosages précis de matériaux radioactifs dont l'activité est seulement légèrement supérieure au bruit de fond, il convient de déterminer ce dernier en effectuant un nombre suffisant de mesures avec des durées de comptage suffisantes, afin de minimiser l'erreur associée au taux de comptage du bruit de fond.

4.3.5.6 Les résultats de tous les contrôles de bon fonctionnement doivent être consignés, de manière à déceler rapidement tout écart par rapport à la normale. Lorsque les valeurs tombent en dehors de limites prédéterminées, des mesures appropriées doivent être prises incluant, suivant le cas, la confirmation, le dépannage ou le réétalonnage.

5 Sources d'erreur et incertitudes

De possibles sources d'erreur ainsi que les incertitudes dans les mesures avec des détecteurs NaI(Tl) sont énumérées ci-dessous de a) à p). Voir aussi l'article 6.

- a) Incertitudes dans l'étalonnage des sources étalons.
- b) Ecart de géométrie entre échantillon et étalon. Ceci peut inclure des matériaux voisins qui peuvent diffuser des rayonnements gamma vers le détecteur.
- c) Variations du bruit de fond ambiant (en particulier pour les mesures de faible activité).
- d) Présence d'impuretés radioactives.
- e) Différences dans l'atténuation dues à des différences dans l'épaisseur des parois des récipients ou la nature du matériau qui les constitue.

From the identified gamma-ray energies and other information available, decide which radionuclides are present in the sample. When calculating the activities of specific radionuclides, the number of gamma rays emitted per disintegration is required so that

$$A = G/P$$

where

A is the activity;

P is the emission probability (of the gamma ray of interest).

4.3.5 Performance testing

4.3.5.1 The system energy calibration shall be checked on each day of use with one or more check sources emitting gamma rays in the energy range of interest.

4.3.5.2 The pulse-height resolution of the system shall be determined at the time of initial installation and checked at least once in each week of use.

4.3.5.3 Reproducibility tests shall be performed by checking the efficiency calibration at least once in each week of use with at least one long-lived radioactive check source with energies that span the region of interest. Correction for radioactive decay of the source since its original measurement shall be applied.

4.3.5.4 The efficiency calibration shall be checked at least semiannually by using radioactive standard sources of radionuclides that span the energy region of interest.

4.3.5.5 The ambient background of the system shall be measured immediately before and after each batch of samples. The ambient background shall also be measured periodically, at least once in each week of use.

For accurate assays of radioactive materials whose activities are only slightly above background, the system background should be determined using a sufficient number of background readings and using counting times of sufficient length so as to minimize the uncertainty associated with the background count rate.

4.3.5.6 The results of all performance checks shall be recorded in such a way that deviations from the norm will be readily observable. Appropriate action, which could include confirmation, repair and recalibration as required, shall be taken when the measured values fall outside of predetermined limits.

5 Sources of error and uncertainty

Possible sources of error and uncertainty in NaI(Tl) measurements are listed in a) to p). See also clause 6.

- a) Uncertainties in the calibration of the standard sources.
- b) Deviations in the sample geometry from the standard geometry. This may include nearby material that can scatter gamma rays into the detector.
- c) Variations in ambient radiation background (particularly for low-activity measurements).
- d) The presence of radionuclide impurities.
- e) Differences in attenuation due to differences in container wall thickness or material.

- f) Mauvaise uniformité de la répartition de la radioactivité dans l'échantillon.
- g) Soustractions du fond Compton.
- h) Durée de comptage, incluant les erreurs introduites par les corrections de temps mort.
- i) Dysfonctionnements de l'équipement.
- j) Comptage parasite de particules bêta, électrons de conversion, rayonnement de freinage ayant une énergie suffisante pour pénétrer dans le cristal NaI(Tl) et qui s'additionnent de manière imprévisible au spectre d'amplitude.
- k) Somme aléatoire de photons à des taux de comptage élevés (voir 6.4).
- l) Dérive du gain du photomultiplicateur en fonction du temps ou du taux de comptage.
- m) Dérive de gain causée par un champ magnétique variable ou changement d'orientation du détecteur dans un champ magnétique fixe.
- n) Dérive de gain provoquée par une variation de la température ambiante.
- o) Effets dus à l'activation du détecteur par des neutrons ou des particules chargées.
- p) Saturation ou oscillation des amplificateurs ou autres parties de l'équipement.

6 Précautions

6.1 Dosage d'un radionucléide pour lequel aucun étalon n'est disponible

On ne doit pas utiliser un équipement de comptage total ou un équipement à analyseur monocal pour les déterminations quantitatives de radionucléides pour lesquels des étalons radioactifs ne sont pas couramment disponibles. Dans ce cas, on doit utiliser un analyseur multicanal.

6.2 Dosage d'un mélange de radionucléides

On ne doit pas utiliser un équipement de comptage total ou un équipement à analyseur monocal pour tenter la mesure quantitative de radionucléides contenus dans un mélange. Dans certains cas spéciaux, les équipements à analyseur monocal et les appareils à plusieurs fenêtres peuvent être utilisés avec succès pour la mesure de mélanges contenant deux radionucléides. Dans de tels cas de très grandes précautions doivent être prises pour assurer des résultats exacts.

6.3 Détecteurs à fenêtre mince

Lorsqu'on utilise un détecteur à fenêtre mince, on doit être particulièrement prudent dans le cas des radionucléides émettant des électrons de conversion dont l'énergie est très voisine de celle du photon gamma d'intérêt. Afin d'éviter de compter l'électron de conversion dans un tel détecteur, insérer une épaisseur suffisante de matériau absorbant entre la source et le détecteur, puis étalonner le détecteur.

6.4 Taux de comptage

Trois types d'équipements avec détecteur NaI(Tl) sont décrits ici: équipements de comptage total, à analyseur monocal, et à analyseur multicanal. Chacun a un comportement propre sur une grande dynamique de taux de comptage. En général, les systèmes les plus simples permettent d'atteindre les taux de comptage les plus élevés et nécessitent le moins de corrections. La stabilité du gain et la forme du spectre peuvent dépendre du taux de comptage.

- f) Non-uniformity of the radioactivity distribution in the sample.
- g) Compton continuum subtractions.
- h) Timing, including errors in dead-time corrections.
- i) Equipment malfunctions.
- j) The counting of beta particles, conversion electrons, and bremsstrahlung which are energetic enough to enter the NaI(Tl) crystal and add, in an unpredictable way, to the gamma-ray pulse-height spectrum.
- k) Random photon summing at high count rates (see 6.4).
- l) Photomultiplier tube gain drift as a function of time or count rate.
- m) Gain shift caused by a changing magnetic field or change in the orientation of the detector in a fixed magnetic field.
- n) Gain shift caused by ambient temperature change.
- o) The effect of detector activation by neutrons and charged particles.
- p) Saturation or ringing of amplifiers or other system components.

6 Precautions

6.1 Assay for a radionuclide for which no radioactivity standard is readily available

A total-spectrum counting system or a single-channel analyzer counting system shall not be used for quantitative determinations of radionuclides for which radioactivity standards are not readily available. Multichannel counting systems shall be used in such cases.

6.2 Assay of mixtures of radionuclides

A total-spectrum counting system or a single-channel analyzer counting system shall not be used for attempted quantification of the radionuclides contained within a mixture. In certain special cases, single-channel analyzer counting systems and multiple window devices can be successfully used for the measurement of mixtures containing two radionuclides. Such cases require careful procedures to ensure accurate results.

6.3 Thin-window detectors

When working with a thin-window detector, it is necessary to be cautious about radionuclides emitting conversion electrons which have energies close to that of the gamma ray of interest. To avoid counting the conversion electrons in such detectors, insert a sufficient amount of absorbing material between the source and the detector, then calibrate the detector.

6.4 Count rates

Three NaI(Tl) detector systems are described: these are a total spectrum counting system, single-channel analyzer (SCA) counting system and multichannel analyzer (MCA) counting system. The performance of each system over a wide range of count rates is unique. In general, the simplest system provides the highest rate capability and requires the fewest corrections. System gain stability and spectral shape may be count rate dependent.

6.5 Facteurs de correction liés à la géométrie

Lors de la procédure d'étalonnage, on doit tenir compte du fait que la mesure est influencée par la configuration géométrique et par la composition du récipient contenant l'échantillon ainsi que par d'autres absorbants. Une bonne reproductibilité est en général obtenue lors du positionnement des récipients contenant l'échantillon dans les détecteurs à puits. Leur positionnement sur le détecteur, ou au-dessus de celui-ci, nécessite de respecter une méthode de positionnement. Le dosage de radionucléides contenus dans des récipients de taille ou de forme différentes nécessite des facteurs de correction et un nouvel étalonnage.

6.6 Statistiques de comptage et dynamique de mesure

La recommandation de 10 000 chocs nets est valable pour les mesures d'activités qui ne sont pas voisines de l'activité minimale détectable (AMD). L'AMD est égale en première approximation à $3S_B / R$, où S_B représente l'écart type du bruit de fond et R est la réponse de l'équipement (cette formule ne prend en compte que les fluctuations statistiques). Une première approximation de la dynamique effective de mesure est obtenue en utilisant les formules ci-dessous pour la limite basse d'activité (LBA) et la limite haute d'activité (LHA):

$$LBA \approx 10^4/RT \text{ (où } T \text{ est le temps de comptage total)}$$

$$LHA \approx 2 \cdot 10^4/R \text{ (voir 6.7)}$$

R est exprimé en $Bq^{-1}s^{-1}$.

6.7 Corrections de temps mort

De nombreux équipements possèdent une compensation interne de temps mort. Cependant, pour les équipements ne comportant pas une telle compensation, le taux de comptage corrigé du temps mort N_0 est donné par

$$N_0 = N/(1 - N t_d)$$

où

N est le taux de comptage observé;

t_d est le temps mort, qui peut être déterminé expérimentalement en utilisant la méthode dite «des deux sources», comme indiqué ci-après.

Il convient de considérer la mesure comme non valable si N_0 est supérieur à N de plus de 20 %. L'expression de N_0 ci-dessus donne, à titre d'exemple, une correction égale à 1 % pour un temps mort de 10 μs et un taux de comptage de 1000 par seconde. Dans cette méthode, on effectue à l'aide de deux sources du même radionucléide un premier comptage avec la source 1, un deuxième avec la source 2, un troisième avec les sources 1 et 2 et un quatrième en l'absence de source. On obtient respectivement les taux de comptage N_1 , N_2 , N_{12} et N_b . Le temps mort t_d s'obtient par les équations suivantes:

6.5 Geometric correction factors

The dependence of the measurement on the geometric configuration and composition of the sample container and other absorbers shall be taken into consideration in the calibration procedure. Positioning of the sample containers within detector wells usually provides good positional reproducibility. Positioning of sample containers on or above the surface of detectors requires a method for reproducing the position. Correction factors and new calibrations shall be obtained for assaying for radionuclides in containers of different sizes or shapes.

6.6 Counting statistics and range of measurement

The recommendation of 10 000 net counts is made for measurements of activities which are not near the minimum detectable activity (*MDA*). *MDA* is approximately $3S_B/R$ where S_B represents the standard deviation of the background and R represents the response of the system. (This relationship takes into account only statistical fluctuations.) A rough estimation of the effective range of measurement may be obtained by using the following relationships for the lower limit (*LLA*) and the upper limit (*ULA*) of activity.

$$LLA \approx 10^4/RT \text{ (where } T \text{ is the total measuring time)}$$

$$ULA \approx 2 \cdot 10^4/R \text{ (see 6.7)}$$

R is given in $\text{Bq}^{-1}\text{s}^{-1}$.

6.7 Dead-time corrections

For a number of systems, there is internal dead-time compensation. However, for those systems that have no such compensation, the dead-time-corrected count rate, N_0 is given by

$$N_0 = N/(1 - Nt_d)$$

where

N is the observed count rate;

t_d is the dead time which can be experimentally determined, as described below, using the so-called two-source method.

The measurement should be considered invalid if N_0 exceeds N by more than 20 %. The above expression for N_0 gives, for example, a correction of 1 % for a dead time of 10 μs and a count rate of 1 000 per second. In this method, counting rates are measured using two sources of the same radionuclide: first of source 1, second of source 2, third of sources 1 and 2, and fourth with no source present. From these measurements, the respective count rates N_1 , N_2 , N_{12} and N_b are obtained. The dead time t_d is determined using the following equations:

$$t_d = \frac{x [1 - \sqrt{1 - z}]}{y}$$

$$x = N_1 N_2 - N_b N_{12}$$

$$y = N_1 N_2 (N_{12} + N_b) - N_b N_{12} (N_1 + N_2)$$

$$z = \frac{y (N_1 + N_2 - N_{12} - N_b)}{x^2}$$

Lors des mesures, il est important de ne pas perturber la source 1 lorsqu'on introduit la source 2 et, de même, de ne pas perturber la source 2 lorsqu'on retire la source 1. Pour les équipements à analyseur multicanal, le dispositif temps actif est conçu pour compenser les durées de comptage perdues pendant le traitement des impulsions, et des corrections supplémentaires pour les pertes dues au temps mort de l'amplificateur ne sont généralement pas nécessaires, bien qu'une correction pour les empilements d'impulsions puisse être nécessaire.

Lorsque l'une des sources 1 ou 2 n'est pas utilisée, il peut être souhaitable, dans certains cas, de remplacer la source non utilisée par un blanc de même nature, de façon à ne pas modifier la géométrie de diffusion.

6.8 Correction de décroissance pendant la durée du comptage

6.8.1 Si la mesure du taux de comptage net nécessite une durée non négligeable devant la demi-vie et que le taux de comptage est affecté à l'instant du début du comptage, il faut appliquer un facteur de correction multiplicatif F_b :

$$F_b = \lambda t (1 - e^{-\lambda t})$$

où

F_b est la correction de décroissance pendant le comptage (taux de comptage au début du comptage);

t est le temps de comptage écoulé;

λ est la constante de temps de décroissance du radionucléide ($\ln 2 / T_{1/2}$);

$T_{1/2}$ est la demi-vie du radionucléide (t et $T_{1/2}$ doivent être exprimés dans la même unité de temps).

La correction F_b est égale à 1,01 lorsque le rapport $t/T_{1/2}$ est égal à 0,03.

6.8.2 Si, dans les mêmes conditions, le taux de comptage est affecté à l'instant médian de la période de comptage, le facteur de correction multiplicatif F_m sera pratiquement égal à 1 pour $t/T_{1/2} = 0,03$, et égal à 0,995 pour $t/T_{1/2} = 0,5$. Si la correction doit être appliquée, le facteur de correction à utiliser est

$$F_m = [\lambda t (1 - e^{-\lambda t})] e^{-\lambda t/2}$$

$$t_d = \frac{x [1 - \sqrt{1 - z}]}{y}$$

$$x = N_1 N_2 - N_b N_{12}$$

$$y = N_1 N_2 (N_{12} + N_b) - N_b N_{12} (N_1 + N_2)$$

$$z = \frac{y (N_1 + N_2 - N_{12} - N_b)}{x^2}$$

When making the measurements, it is important not to disturb source 1 when introducing source 2, and similarly, when removing source 1, not to disturb source 2. For multichannel analyzer systems, the live-time feature is designed to compensate for counting time lost during pulse processing, and a further correction for dead-time losses is usually not required though a pulse pile-up correction may be necessary.

When either source 1 or source 2 is not in use it may be advisable in some cases to replace the source that is not in use by an equivalent blank so that the scattering geometry is unchanged.

6.8 Correction for decay during the counting period

6.8.1 If the value of a net count rate is determined by a measurement that spans a significant fraction of a half-life, and the value is assigned to the beginning of the counting period, a multiplicative correction factor F_b shall be applied:

$$F_b = \lambda t / (1 - e^{-\lambda t})$$

where

F_b is the decay during count correction (count rate referenced to the beginning of the counting period);

t is the elapsed counting time;

λ is the radionuclide decay constant ($\ln 2 / T_{1/2}$);

$T_{1/2}$ is the radionuclide half-life (t and $T_{1/2}$ shall be expressed in the same units of time).

The correction F_b is 1,01 for a ratio of $t/T_{1/2}$ equal to 0,03.

6.8.2 If under the same conditions the counting rate is assigned to the midpoint of the counting period, the multiplicative correction F_m will be essentially 1 for $t/T_{1/2}$ of 0,03 and 0,995 for $t/T_{1/2}$ of 0,5. If it need be applied, the correction factor to be used is

$$F_m = [\lambda t / (1 - e^{-\lambda t})] e^{-\lambda t/2}$$

6.9 Géométrie de comptage

La source à mesurer doit être, à tous points de vue, aussi voisine que possible de la source étalon (forme, caractéristiques physiques et chimiques, homogénéité, etc.). La géométrie source-détecteur doit être identique pour les sources échantillon et étalon. Il faut prendre bien soin d'éviter tout dépôt de matériau de la source sur les parois du récipient contenant l'échantillon. Pour les échantillons multiphasiques, tels que le radon dans une solution de radium ou le krypton en solution saline, il faut prendre bien soin de contrôler la partition de la radioactivité entre phase gazeuse et phase liquide (par exemple en secouant juste avant le début du comptage).

6.10 Caractéristiques spectrales

6.10.1 Les effets suivants qui se produisent inévitablement présentent de l'importance:

- a) rayonnement diffusé provenant de l'environnement, incluant les émissions de rayons X créés dans le plomb du blindage ainsi que dans l'enveloppe de la source;
- b) sommation d'événements Compton en coïncidence, donnant des impulsions parasites dans la zone d'un pic d'énergie totale d'intérêt;
- c) échappement de rayons X_K de l'iode pour les sources de photon de faible énergie;
- d) sommation d'événements Compton et d'énergie totale en coïncidence donnant des impulsions parasites à une énergie supérieure à la région du pic d'énergie totale d'intérêt.

6.11 Courbe (ou fonction) d'efficacité dans le pic d'énergie totale en fonction de l'énergie

L'expression ou la courbe donnant la variation de l'efficacité dans le pic d'énergie totale en fonction de l'énergie doit être déterminée pour chaque détecteur et on doit contrôler toute variation dans le temps et avec la température, comme cela est spécifié dans la présente norme (voir 4.3.5.3). Il convient d'avoir au moins trois points d'étalonnage à peu près régulièrement répartis sur la région d'intérêt en dessous de 0,300 MeV. Au-dessus de 0,300 MeV, il convient que les points d'étalonnage soient répartis sur toute la région d'intérêt environ tous les 0,250 MeV. En dessous de 0,100 MeV, il convient que l'étalonnage en efficacité dans le pic d'énergie totale soit réalisé à l'aide d'une source étalon du radionucléide à mesurer. Il en est de même dans le cas de radionucléides émettant des gamma en cascade, où seul l'étalonnage dans le pic d'énergie totale avec le même radionucléide que celui à mesurer est en mesure de fournir un étalonnage fiable.

6.12 Taux de comptage net

Lorsqu'on utilise des équipements à analyseur multicanal, on doit corriger le spectre du bruit de fond ambiant et le spectre de l'échantillon en soustrayant le fond continu dans la région d'intérêt. La différence entre ces deux résultats corrigés donne le comptage net dans le pic d'énergie totale.

6.13 Effets de la température

Dans certains cas, il est nécessaire de corriger les effets de la température.

6.14 Linéarité

Sur une gamme d'énergie étendue l'étalonnage en énergie à l'aide de deux points peut se révéler insuffisante. Dans ce cas, des énergies supplémentaires d'étalonnage sont requises et il peut être nécessaire d'utiliser une approximation par un polynôme du second, voire du troisième degré pour un étalonnage précis en énergie.

6.9 Counting geometry

The source to be measured shall duplicate, as closely as possible, the calibration standards in all aspects (such as shape, physical and chemical characteristics, homogeneity, etc). The source-to-detector relationship shall be the same for source and standard. Care shall be taken to avoid deposition of source material on the surfaces of the sample container. For multiphase samples, such as radon in radium solution and krypton in saline solution, care shall be taken to carefully control the partitioning of the radioactivity between the gaseous and liquid phases (for example, by shaking just prior to counting).

6.10 Spectral features

6.10.1 The following effects which will occur are important:

- a) scattering from the surroundings, including induced x-ray emissions from lead shielding and the source housing;
- b) summing of coincident Compton events to give spurious pulses in the region of a full-energy peak of interest;
- c) iodine K x-ray escape for low-energy photon sources;
- d) summing of coincident Compton and full-energy events to give spurious pulses above the region of a full-energy peak of interest.

6.11 Full-energy peak efficiency versus energy function or curve

The expression or curve showing the variation of the full-energy peak efficiency with energy shall be determined for a particular detector and shall be checked for changes with time and temperature as specified in this standard (see 4.3.5.3). There should be a minimum of three calibration points, approximately evenly spaced, spanning the energy region of interest below 0,300 MeV. Above 0,300 MeV, calibration points should be obtained approximately every 0,250 MeV, spanning the energy region of interest. Full-energy peak efficiency calibrations below 0,100 MeV should be determined using a radioactivity standard of the radionuclide to be measured. A full-energy peak efficiency calibration using the same radionuclides that are to be measured should be made and may provide the only reliable full-energy peak efficiency calibration when a radionuclide with cascade gamma rays is measured.

6.12 Net count rate

When using multichannel analyzer systems, the ambient background spectrum and the sample spectrum shall be corrected by subtracting the corresponding continuum in the region of interest. The difference of those two results is the net sample count in the full-energy peak.

6.13 Temperature effects

In some cases, corrections for temperature may be required.

6.14 Linearity

Over a wide energy range, a two-point energy calibration may not be sufficient. In these instances, more calibration energies are needed and a quadric or cubic polynomial fit may be required for precise energy calibration.

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61453:1997

Withdrawn



Standards Survey

We at the IEC want to know how our standards are used once they are published.

The answers to this survey will help us to improve IEC standards and standard related information to meet your future needs

Would you please take a minute to answer the survey on the other side and mail or fax to:

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembe

Case postale 131

1211 Geneva 20

Switzerland

or

Fax to: CSC at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards making process.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembe

Case postale 131

1211 GENEVA 20

Switzerland

1. No. of IEC standard: 	7. Please rate the standard in the following areas as (1) bad, (2) below average, (3) average, (4) above average, (5) exceptional, (0) not applicable: ☐ clearly written ☐ logically arranged ☐ information given by tables ☐ illustrations ☐ technical information	13. If you said yes to 12 then how many volumes:
2. Tell us why you have the standard. (check many as apply). I am: ☐ the buyer ☐ the user ☐ a librarian ☐ a researcher ☐ an engineer ☐ a safety expert ☐ involved in testing ☐ with a government agency ☐ in industry ☐ other.....	8. I would like to know how I can legally reproduce this standard for: ☐ internal use ☐ sales information ☐ product demonstration ☐ other.....	14. Which standards organizations published the standards in your library (e.g. ISO, DIN, ANSI, BSI, etc.):
3. This standard was purchased from? 	9. In what medium of standard does your organization maintain most of its standards (check one): ☐ paper ☐ microfilm/microfiche ☐ mag tapes ☐ CD-ROM ☐ floppy disk ☐ on line	15. My organization supports the standards-making process (check as many as apply): ☐ buying standards ☐ using standards ☐ membership in standards organization ☐ serving on standards development committee ☐ other.....
4. This standard will be used (check as many as apply): ☐ for reference ☐ in a standards library ☐ to develop a new product ☐ to write specifications ☐ to use in a tender ☐ for educational purposes ☐ for a lawsuit ☐ for quality assessment ☐ for certification ☐ for general information ☐ for design purposes ☐ for testing ☐ other.....	9A. If your organization currently maintains part or all of its standards collection in electronic media please indicate the format(s): ☐ raster image ☐ full text	16. My organization uses (check one) ☐ French text only ☐ English text only ☐ Both English/French text
5. This standard will be used in conjunction with (check as many as apply): ☐ IEC ☐ ISO ☐ corporate ☐ other (published by.....) ☐ other (published by.....) ☐ other (published by.....)	10. In what medium does your organization intend to maintain its standards collection in the future (check all that apply): ☐ paper ☐ microfilm/microfiche ☐ mag tape ☐ CD-ROM ☐ floppy disk ☐ on line	17. Other comments:
6. This standard meets my needs (check one) ☐ not at all ☐ almost ☐ fairly well ☐ exactly	10A. For electronic media which format will be chosen (check one) ☐ raster image ☐ full text	18. Please give us information about you and your company name: job title:..... company: address:..... No. employees at your location:..... turnover/sales:.....