

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

**Nuclear instrumentation – Scintillation gamma ray detector systems for the assay of radionuclides – Calibration and routine tests**

**Instrumentation nucléaire – Equipements avec détecteurs à scintillation de rayonnement gamma, pour le dosage de radionucléides – Etalonnage et essais individuels**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61453:2007



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2007 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office  
3, rue de Varembe  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland  
Email: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)  
Web: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

### About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: [www.iec.ch/webstore/custserv](http://www.iec.ch/webstore/custserv)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

### A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

### A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: [www.iec.ch/searchpub/cur\\_fut-f.htm](http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm)

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: [www.iec.ch/webstore/custserv/custserv\\_entry-f.htm](http://www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

---

**Nuclear instrumentation – Scintillation gamma ray detector systems for the assay of radionuclides – Calibration and routine tests**

**Instrumentation nucléaire – Equipements avec détecteurs à scintillation de rayonnement gamma, pour le dosage de radionucléides – Etalonnage et essais individuels**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX

R

## CONTENTS

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                        | 3  |
| 1 Scope.....                                                                         | 5  |
| 2 Terms, definitions, symbols and abbreviations.....                                 | 5  |
| 2.1 Terms and definitions.....                                                       | 5  |
| 2.2 Symbols and abbreviations.....                                                   | 8  |
| 3 Procedure .....                                                                    | 9  |
| 3.1 Total spectrum counting systems .....                                            | 9  |
| 3.1.1 General .....                                                                  | 9  |
| 3.1.2 System response calibration.....                                               | 9  |
| 3.1.3 Activity determination .....                                                   | 10 |
| 3.1.4 Routine test.....                                                              | 10 |
| 3.2 Single-channel analyzer counting systems .....                                   | 11 |
| 3.2.1 General .....                                                                  | 11 |
| 3.2.2 Energy calibration.....                                                        | 11 |
| 3.2.3 Total absorption peak efficiency calibration .....                             | 11 |
| 3.2.4 Activity determination .....                                                   | 11 |
| 3.2.5 Routine test.....                                                              | 12 |
| 3.3 Multichannel analyzer counting systems.....                                      | 13 |
| 3.3.1 General .....                                                                  | 13 |
| 3.3.2 Energy calibration.....                                                        | 13 |
| 3.3.3 Total absorption peak efficiency calibration (see 5.10).....                   | 13 |
| 3.3.4 Activity determination .....                                                   | 14 |
| 3.3.5 Routine test.....                                                              | 14 |
| 4 Sources of error and uncertainty.....                                              | 15 |
| 5 Precautions .....                                                                  | 15 |
| 5.1 Assay of a radionuclide for which no reference source is readily available ..... | 15 |
| 5.2 Assay of mixtures of radionuclides .....                                         | 16 |
| 5.3 Thin-window detectors.....                                                       | 16 |
| 5.4 Count rates.....                                                                 | 16 |
| 5.5 Geometric correction factors .....                                               | 16 |
| 5.6 Counting statistics and range of measurement .....                               | 16 |
| 5.7 Dead time corrections .....                                                      | 16 |
| 5.8 Correction for decay during the counting period .....                            | 17 |
| 5.9 Counting geometry .....                                                          | 18 |
| 5.10 Total absorption peak efficiency versus energy function .....                   | 18 |
| 5.11 Net count rate .....                                                            | 18 |
| 5.12 Temperature effects .....                                                       | 18 |
| Bibliography.....                                                                    | 19 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**NUCLEAR INSTRUMENTATION –  
SCINTILLATION GAMMA RAY DETECTOR SYSTEMS  
FOR THE ASSAY OF RADIONUCLIDES –  
CALIBRATION AND ROUTINE TESTS**

## 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 61453 has been prepared by IEC International Committee 45: Nuclear instrumentation.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1997. It constitutes a technical revision and an expansion of detector types considered.

The major change in comparison with the previous edition of IEC 61453 is an expansion of detector types considered. Along with sodium iodide detector systems, this new edition standardizes scintillation detector systems based on other inorganic scintillators for photon measurements. Furthermore, Clause 2 has been updated.

The revision of the standard is intended to accomplish the following:

- to extend detector systems base from sodium iodide to inorganic scintillators for photon measurements;
- to review the existing requirements and to update the terminology, definitions and normative references.

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

|             |                  |
|-------------|------------------|
| FDIS        | Report on voting |
| 45/645/FDIS | 45/646/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.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. 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 61453:2007

# **NUCLEAR INSTRUMENTATION – SCINTILLATION GAMMA RAY DETECTOR SYSTEMS FOR THE ASSAY OF RADIONUCLIDES – CALIBRATION AND ROUTINE TESTS**

## **1 Scope**

This International Standard specifies methods of calibration and routine tests of scintillation detector systems for the measurement of gamma-ray energies and emission rates of radionuclides and the assay of radioactivity.

This International Standard is applicable to scintillation detector systems based on inorganic scintillators for photon measurements.

Typical applications include radionuclide identification and assay in various industrial, environmental, and medical applications. The detector system consists of three major components: a scintillating material that produces photons of light when ionizing radiation interacts with it; one or more photomultipliers or photodiodes, optically coupled to the scintillator, which convert 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 3.1) which employs a system that counts all pulses above a low-energy threshold (see 5.1, 5.2 and 5.3);
- b) single-channel analyzer (SCA) counting (see 3.2) which employs a system with a counting channel established through upper and lower energy boundaries (see 5.1, 5.2, and 5.3);
- c) multichannel analyzer counting (see 3.3) which employs a system in which multiple counting windows are utilized. This technique allows measurements for which the continuum under the total absorption peak may be subtracted without introducing unacceptable error. In case of overlapping peaks in the spectrum, a multichannel analyzer (MCA) with access to a peak deconvolution program is necessary. This case is not covered by this standard.

## **2 Terms, definitions, symbols and abbreviations**

### **2.1 Terms and definitions**

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

#### **2.1.1**

##### **accuracy of measurement**

closeness of the agreement between the result of a measurement and the conventionally true value of the measurand

NOTE 1 "Accuracy" is a qualitative concept.

NOTE 2 The term precision should not be used for "accuracy".

[IEV 394-40-35]

### **2.1.2** **activity**

*A*

quantitative indication of the radioactivity of an amount of radionuclide in a particular energy state at a given time. Activity is determined as the quotient of  $dN$  by  $dt$ , where  $dN$  is the expectation value of the number of spontaneous nuclear transitions from that energy state in the time interval  $dt$ :

$$A = \frac{dN}{dt}$$

The unit of activity is the reciprocal second ( $s^{-1}$ ). The special name of the unit of activity is the becquerel (Bq), 1 Bq being equal to one transition per second. The earlier unit of activity was the curie (Ci), 1 Ci being equal to  $3,7 \times 10^{10}$  transitions per second

[IEC 60788:2004, rm-13-18]

### **2.1.3** **assay of activity**

determination of the activity of a radionuclide in a sample

### **2.1.4** **assembly**

a light protective chamber containing a housed scintillator, photomultiplier, photomultiplier voltage divider

NOTE Assembly is used for testing of the housed scintillator.

[IEC 62372:2006, 3.1.4]

### **2.1.5** **background level (of a measuring assembly)**

signals of origin other than the radiation to be detected.

NOTE It may refer to:

- a) signals caused by radiations from sources inside or outside the detector other than those of interest in the measurement;
- b) signals resulting from the short-comings of the electronic circuits of the detecting system and their power supplies.

[IEV 394-39-08]

### **2.1.6** **check source**

radioactive source used to confirm the normal operation of measuring instruments

NOTE A source placed at a given distance from the detector producing a stable and reproducible indication.

[IEV 394-40-18]

### **2.1.7** **resolving time correction** **dead time correction**

correction to be applied to the observed number of pulses in order to take into account the number of pulses lost due to the resolving time or the dead time

[IEV 394-39-22]

**2.1.8****detector efficiency**

ratio of the number of detected photons or particles to the number of photons or particles of the same type which are incident on the detector in the same time interval

[IEV 394-38-17]

**2.1.9****energy calibration**

process of establishing a relation between the window setting of the pulse height analyzer and the energy of the photons

[IEC 61948-1:2001, 3.5]

**2.1.10****energy resolution**

term used to characterize the ability of radiation detector to distinguish between photons of different energies

NOTE The energy resolution can be expressed as the ratio of the peak full width at half maximum (*FWHM*) to peak energy expressed as a percentage.

[IEC 61948-1:2001, 3.6]

**2.1.11****Full Width at Half Maximum*****FWHM***

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.

[IEC 62372:2006, 3.1.11]

**2.1.12****live time**

duration during which a detection assembly is sensitive to the input signal

[IEV 394-39-31]

**2.1.13****net count rate**

observed count rate (number of counts per unit time) corrected for dead time minus background count rate

**2.1.14****radiation detection assembly**

assembly designed to produce a signal in response to incident ionizing radiation

NOTE 1 This signal carries information about physical properties of the radiation.

NOTE 2 One or more sub-assemblies may be included in the same unit.

[IEV 394-21-11]

**2.1.15****reference source**

radioactive secondary standard source for use in the calibration of the measuring instrument

[IEV 394-40-19]

### 2.1.16

#### **response (of a radiation measuring assembly)**

ratio, under specified conditions, given by the relation:

$$R = \frac{v}{v_c}$$

where

$v$  is the value measured by the equipment or assembly under test;

$v_c$  is the conventionally true value of this quantity

NOTE 1 The input signal to a measuring system may be called the stimulus; the output signal may be called the response (IVM).

NOTE 2 Response can have several definitions. As an example, the definition of the response of a radiation measuring assembly is given.

[IEV 394-40-21]

### 2.1.17

#### **routine test**

conformity test made on each individual item during or after manufacture

[IEV 394-40-03]

### 2.1.18

#### **total absorption peak**

portion of the spectral response curve corresponding to the total absorption of photon energy in a radiation detector

NOTE This peak represents the total absorption of photon energy from all interactive processes, namely:

- a) photoelectric absorption,
- b) Compton effects, and
- c) pair production.

[IEV 394-38-57]

## 2.2 Symbols and abbreviations

|               |                                                                                      |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| $A$           | the activity of a sample;                                                            |
| $A_r$         | the activity of a reference source;                                                  |
| $C_n$         | the net count rate of a sample;                                                      |
| $C_{nr}$      | the net count rate of a reference source;                                            |
| $G$           | the gamma-ray emission rate of a sample;                                             |
| $G_E$         | the gamma-ray emission rate of the gamma-ray of interest of energy $E$ of a sample;  |
| $G_r$         | the gamma-ray emission rate of a reference source;                                   |
| $F_b$         | multiplicative correction factor to correct for decay of the source during counting; |
| $F_m$         | multiplicative correction factor considering decay during a measurement;             |
| $\varepsilon$ | the total absorption peak efficiency;                                                |
| $\lambda$     | the radionuclide decay constant;                                                     |
| $C$           | the observed count rate;                                                             |
| $C_o$         | dead time corrected count rate;                                                      |

|           |                                                                              |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------|
| $P$       | the absolute emission probability (of the gamma rays of interest) per decay; |
| $R$       | the response;                                                                |
| $T_{1/2}$ | the radionuclide half-life;                                                  |
| $t$       | the counting time;                                                           |
| $t_d$     | the dead time;                                                               |
| $S_B$     | the standard deviation of a background;                                      |
| $v$       | the value of a quantity measured by the equipment or assembly under test;    |
| $v_C$     | the conventionally true value of this quantity;                              |
| $dV$      | the number of spontaneous nuclear transitions from that energy state;        |
| $dt$      | the time interval;                                                           |
| $FWHM$    | full width at half maximum;                                                  |
| SCA       | single-channel analyzer;                                                     |
| MCA       | multichannel analyzer.                                                       |

### 3 Procedure

#### 3.1 Total spectrum counting systems

##### 3.1.1 General

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

##### 3.1.2 System response calibration

**3.1.2.1** Set the lower-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 insensitive to small changes in discriminator setting;
- c) any significant electronic noise is below the counting threshold and the upper-limit discriminator is set to the highest possible setting.

**3.1.2.2** For each radionuclide of interest, accumulate counts using a reference source in the reproducible counting geometry desired (see 5.5). At least 10 000 total counts should be accumulated (see 5.4; 5.6).

**3.1.2.3** Correct for dead time as specified in 5.7.

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

**3.1.2.5** Correct for decay of the reference source activity from the time of calibration to the time at which the count rate is measured (see 5.8).

**3.1.2.6** Calculate the response  $R$  as follows:

$$R = \frac{C_{nr}}{A_r} \quad (1)$$

where

$C_{nr}$  is the net count rate of the reference source (according to 3.1.2.4);

$A_r$  is the activity of the reference source (according to 3.1.2.5).

### 3.1.3 Activity determination

**3.1.3.1** Using the instrument settings according to 3.1.2, place the sample to be measured in the same counting geometry that was used for the system response calibration (see 5.5; 5.9).

**3.1.3.2** Accumulate enough counts to obtain the desired statistical level of accuracy (see 5.4; 5.6).

**3.1.3.3** Correct the count rate for dead time as specified in 5.7.

**3.1.3.4** Obtain the net count rate for the sample by subtracting the background level count rate from the total count rate.

**3.1.3.5** Calculate the activity  $A$  of the sample by

$$A = \frac{C_n}{R} \quad (2)$$

where

$C_n$  is the net count rate of the sample (according to 3.1.3.4);

$R$  is the response (according to 3.1.2.6).

### 3.1.4 Routine test

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

**3.1.4.2** The response calibration of an idle system when returned to use shall be checked at least semi-annually by using reference sources of radionuclides that span the energy region of interest.

**3.1.4.3** The background level of the system shall be measured immediately before and after each batch of samples. The background level shall also be measured periodically, at least once in every 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.

**3.1.4.4** 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.

## 3.2 Single-channel analyzer counting systems

### 3.2.1 General

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

### 3.2.2 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 discriminator. Measure the count rate as a function of the lower level discriminator setting at increments of not more than 2 % of the energy range of interest. The window width should be 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 total absorption peak. An improved position can be found through function fit to the count rates around the maximum. 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. It is recommended to use single- or double-line emitting radionuclides for the energy calibration.

### 3.2.3 Total absorption peak efficiency calibration

**3.2.3.1** The lower level discriminator and the window width shall be set to include the total absorption peak(s) of interest.

**3.2.3.2** For each radionuclide of interest, accumulate counts using a reference source in a desired and reproducible counting geometry (see 5.5). At least 10 000 total counts should be accumulated (see 5.4; 5.6).

**3.2.3.3** Correct for dead time as specified in 5.7.

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

**3.2.3.5** Correct the reference source gamma-ray emission rate for decay from the time of calibration to the time at which the count rate is measured (see 5.8).

**3.2.3.6** Calculate the total absorption peak efficiency ( $\varepsilon$ ) for each gamma-ray energy as follows:

$$\varepsilon = \frac{C_{nr}}{G_r} \quad (3)$$

If the reference source is calibrated with regard to activity, the gamma-ray emission rate is given by

$$G_r = A_r \times P \quad (4)$$

### 3.2.4 Activity determination

**3.2.4.1** Using the instrument settings of 3.2.3, place the sample to be measured in the same counting geometry that was used for the efficiency calibration (see 5.5; 5.9).

**3.2.4.2** Accumulate enough counts to obtain the desired statistical level of accuracy (see 5.4; 5.6).

**3.2.4.3** Correct the count rate for dead time as specified in 5.7.

**3.2.4.4** Obtain the net count rate for the sample by subtracting the background level count rate from the total count rate (see 5.8).

**3.2.4.5** Calculate the gamma-ray emission rate of the sample by

$$G_E = \frac{C_n}{\varepsilon} \quad (5)$$

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

$$A = \frac{G_E}{P} \quad (6)$$

### 3.2.5 Routine test

**3.2.5.1** The system energy calibration shall be checked on every day of use with one or more checking sources emitting gamma rays in the energy range of interest.

**3.2.5.2** The energy resolution of the system shall be determined at the time of initial installation and checked at least once in every month of use. The energy resolution should be performed with a  $^{137}\text{Cs}$  source and a window width less than 1 % of the relevant energy span. The window should be moved in 1 % increments from 10 % below the 661,6 keV peak to 10 % above. The background level shall be determined below and above the peak and an approximately linear baseline under the peak shall be calculated to correct all measured count rates for the respective baseline contributions. *FWHM* shall be calculated by interpolation on either side.

**3.2.5.3** Reproducibility tests shall be performed by checking the efficiency calibration at least once in every month of use with at least one long-lived radioactive checking source with energies that span the region of interest. Correction for radioactive decay of the source since its calibration shall be applied.

**3.2.5.4** The efficiency calibration of an idle system when returned to use shall be checked at least semi-annually by using reference sources of radionuclides that span the energy region of interest.

**3.2.5.5** The background level of the system shall be measured immediately before and after each batch of samples. In addition, the background level shall also be measured periodically.

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.

**3.2.5.6** 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.

### 3.3 Multichannel analyzer counting systems

#### 3.3.1 General

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

#### 3.3.2 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 total absorption 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, except when dealing with the low-energy regime. The energy calibration shall be determined for each amplifier gain and photomultiplier high-voltage setting used.

#### 3.3.3 Total absorption peak efficiency calibration (see 5.10)

**3.3.3.1** Accumulate gamma-ray spectra using reference sources in a desired and reproducible counting geometry (see 5.5). At least 10 000 total counts should be accumulated in each total absorption gamma-ray peak of interest (see 5.4; 5.6).

**3.3.3.2** Record the live time counting interval (see 5.4).

**3.3.3.3** For each reference source, determine the net counts in the total absorption gamma-ray peaks of interest (see 5.11).

**3.3.3.4** Correct the reference source gamma-ray emission rate for decay from the time of calibration to the time at which the count rate is measured (see 5.8).

**3.3.3.5** Calculate the total absorption peak efficiency ( $\varepsilon$ ) for each gamma-ray energy as follows:

$$\varepsilon = \frac{C_{nr}}{G_r} \quad (7)$$

where

$C_{nr}$  is the net count rate in the total absorption peak (according to 3.3.3.2; 3.3.3.3);

$G_r$  is the gamma-ray emission rate of the reference source (according to 3.3.3.4).

If the reference source is calibrated in terms of activity, the gamma-ray emission rate is given in accordance with equation (4) (see 3.2.3.6).

**3.3.3.6** To obtain total absorption peak efficiency calibration data at energies for which reference sources are not available, plot and fit an appropriate mathematical function to the values for the total absorption peak efficiency (according to 3.3.3.5) versus gamma-ray energy (see 5.12).

### 3.3.4 Activity determination

**3.3.4.1** Using the instrument settings of 3.3.3, place the sample to be measured in the same counting geometry that was used for the efficiency calibration (see 5.5; 5.9).

**3.3.4.2** Accumulate enough counts in the gamma-ray spectrum to obtain the desired statistical level of accuracy (see 5.4; 5.6).

**3.3.4.3** Record the live time counting interval (see 5.7; 5.4).

**3.3.4.4** Determine the energy of the gamma rays present by the use of the energy calibration data obtained according to 3.3.2.

**3.3.4.5** Obtain the net count rate in each total absorption gamma-ray peak of interest (see 5.8; 5.11) by dividing the net counts by the live time.

**3.3.4.6** Calculate the gamma-ray emission rate for each total absorption peak of interest as follows:

$$G = \frac{C_n}{\varepsilon} \quad (8)$$

where

$C_n$  is the net count rate in the total absorption peak (according to 3.3.4.5);

$\varepsilon$  the total absorption peak efficiency (according to 3.3.3.5).

From the identified gamma-ray energies and other information available, decide which radionuclides are present in the sample. When calculating the activity of a specific nuclide the number of gamma-rays emitted per decay is required for each energy, equation (6) (see 3.2.4.5).

### 3.3.5 Routine test

**3.3.5.1** The system energy calibration shall be checked on every day of use with one or more checking sources emitting gamma rays in the energy range of interest.

**3.3.5.2** The energy resolution of the system shall be determined at the time of initial installation and checked at least once in every week of use.

**3.3.5.3** Reproducibility tests shall be performed by checking the efficiency calibration at least once in every month of use with at least one long-lived radioactive checking source with energies that span the region of interest. Correction for radioactive decay of the source since its calibration shall be applied.

**3.3.5.4** The efficiency calibration of an idle system when returned to use shall be checked at least semi-annually by using reference sources of radionuclides that span the energy region of interest.

**3.3.5.5** The background level of the system shall be measured immediately before and after each batch of samples. The background level shall also be measured periodically, at least daily.

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.

**3.3.5.6** 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.

## **4 Sources of error and uncertainty**

Possible sources of error and uncertainty in inorganic scintillator measurements are listed in a) to q).

- a) Uncertainties in the calibration of the reference sources.
- b) Error through deviation in the sample geometry from the standard geometry. This may involve nearby material that can scatter gamma rays into the detector.
- c) Error through variations in radiation background level (particularly for low-activity measurements).
- d) Error through the presence of radionuclide impurities or stray sources.
- e) Error through differences in attenuation due to differences in container wall thickness or material.
- f) Error through non-uniformity of the radioactivity distribution in the sample.
- g) Uncertainty through Compton continuum subtraction.
- h) Error through timing, including errors in dead time correction.
- i) Error through equipment malfunction.
- j) Uncertainty through the counting of beta particles, conversion electrons, and bremsstrahlung which are energetic enough to enter the scintillator and add to the gamma-ray pulse-height spectrum.
- k) Error through random photon summing at high count rates (see 5.4).
- l) Error through photomultiplier tube gain drift as a function of time or count rate.
- m) Error through gain shift caused by a changing magnetic field or change in the orientation of the detector in a fixed magnetic field.
- n) Error through gain shift caused by temperature change.
- o) Error through detector activation by neutrons and charged particles.
- p) Error through saturation or ringing of amplifiers or other system components.
- q) Uncertainty in the decay correction.

## **5 Precautions**

### **5.1 Assay of a radionuclide for which no reference source 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 calibrated reference sources are not available. Multichannel analyzer counting systems shall be used in such cases.

## 5.2 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, multiple single-channel analyzer counting systems and multichannel analyzer devices can be successfully used for the measurement of mixtures containing two radionuclides. Such cases require careful procedures to ensure accurate results. However, the use of MCAs is recommended.

## 5.3 Thin-window detectors

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

## 5.4 Count rates

Three scintillation detector systems are described: 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, random coincidence losses and spectral shape may be counting rate dependent.

## 5.5 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. New correction factors and calibrations shall be obtained when assaying radionuclides in containers of different size or shape or position.

## 5.6 Counting statistics and range of measurement

It is recommended to measure more than 10 000 total counts from activities which are not near the minimum detectable activity. More precisely, it is recommended to measure  $3S_B/R$  total counts 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).

## 5.7 Dead time corrections

For a number of systems, there is internal dead time compensation. However, for those systems that have no such compensation, the (non-extendable) dead time-corrected count rate,  $C_o$  is given by

$$C_o = \frac{C}{(1 - C \times t_d)} \quad (9)$$

where

$C$  is the observed count rate;

$t_d$  is the dead time which can be experimentally determined as specified below.

The measurement should be considered invalid if  $C_o$  exceeds  $C$  by more than 20 %. The above expression for  $C_o$  gives, for example, a correction of 1 % for a dead time of 10  $\mu$ s and a count rate of 1 000 per second. With this method counting rates are measured using two sources of the same radionuclide: first with source 1 ( $C_1$ ), second with source 2 ( $C_2$ ), third with sources 1 and 2 together ( $C_{12}$ ), and fourth with no source present ( $C_b$ ).

The dead time  $t_d$  is determined using the following equations:

$$t_d = \frac{x[1 - \sqrt{1 - z}]}{y} \quad (10)$$

$$x = C_1 \times C_2 - C_b \times C_{12} \quad (11)$$

$$y = C_1 \times C_2 \times (C_{12} + C_b) - C_b \times C_{12} (C_1 + C_2) \quad (12)$$

$$z = \frac{y(C_1 + C_2 - C_{12} - C_b)}{x^2} \quad (13)$$

When making the two-source measurements, it is important to maintain the exact position of 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 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.

## 5.8 Correction for decay during the counting period

**5.8.1** 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:

$$F_b = \frac{\lambda \times t}{(1 - e^{-\lambda \times t})} \quad (14)$$

where

$F_b$  is a multiplicative correction factor to correct for decay of the source during counting (applies when the count rate is referenced to the beginning of the counting period);

$t$  is the counting time;

$\lambda$  is the radionuclide decay constant and calculated as follows:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad (15)$$

where

$T_{1/2}$  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.

**5.8.2** If, under the same conditions, the counting rate is assigned to the midpoint of the counting period, the multiplicative correction factor considering decay during measurement  $F_m$  will be essentially unity when  $t/T_{1/2}$  is less than 0,03 and it is 0,995 when  $t/T_{1/2}$  is 0,5. The correction factor  $F_m$  is calculated as follows:

$$F_m = \left[ \frac{\lambda \times t}{1 - e^{-\lambda \times t}} \right] \times e^{\frac{-\lambda \times t}{2}} \quad (16)$$

## 5.9 Counting geometry

The source to be measured shall duplicate, as closely as possible, the calibration reference source 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).

## 5.10 Total absorption peak efficiency versus energy function

The function showing the variation of the total absorption 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 3.3.5.3). 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. Total absorption peak efficiency calibrations should be determined using calibrated reference sources of the same geometry as the samples. A calibration using the same radionuclides that are later to be measured is preferred. It will provide the only reliable total absorption peak efficiency calibration when a radionuclide with cascading gamma-rays is measured.

## 5.11 Net count rate

When using MCA systems, the baseline under each peak in the background and sample spectra shall be subtracted to determine net peak areas. Areas of background peaks (normalized for equal live time) are then subtracted from sample peak areas, with proper consideration of uncertainties, in order to get the net peak areas.

## 5.12 Temperature effects

Corrections for temperature effects may be required when temperature differences exceeding 2 °C are encountered.

## **Bibliography**

IEC 60050-394:2007, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 394: Nuclear instrumentation – Instruments, systems, equipment and detectors*

IEC/TR 60788:2004, *Medical electrical equipment – Glossary of defined terms*

IEC 61948-1:2001, *Nuclear medicine instrumentation – Routine tests – Part 1: Radiation counting systems*

IEC 62372, *Nuclear instrumentation – Housed scintillators – Measurement methods of light output and intrinsic resolution*

---

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61453:2007

## SOMMAIRE

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                          | 21 |
| 1 Domaine d'application .....                                                               | 23 |
| 2 Termes, définitions, symboles et abréviations .....                                       | 23 |
| 2.1 Termes et définitions .....                                                             | 23 |
| 2.2 Symboles et abréviations .....                                                          | 26 |
| 3 Procédure .....                                                                           | 27 |
| 3.1 Equipements de comptage total .....                                                     | 27 |
| 3.1.1 Généralités .....                                                                     | 27 |
| 3.1.2 Etalonnage de la réponse de l'équipement .....                                        | 27 |
| 3.1.3 Détermination de l'activité .....                                                     | 28 |
| 3.1.4 Essai individuel .....                                                                | 28 |
| 3.2 Equipements à analyseur monocanal .....                                                 | 29 |
| 3.2.1 Généralités .....                                                                     | 29 |
| 3.2.2 Etalonnage en énergie .....                                                           | 29 |
| 3.2.3 Etalonnage du rendement d'absorption totale .....                                     | 29 |
| 3.2.4 Détermination de l'activité .....                                                     | 29 |
| 3.2.5 Essai individuel .....                                                                | 30 |
| 3.3 Equipements à analyseur multicanal .....                                                | 31 |
| 3.3.1 Généralités .....                                                                     | 31 |
| 3.3.2 Etalonnage en énergie .....                                                           | 31 |
| 3.3.3 Etalonnage du rendement d'absorption totale (voir 5.10) .....                         | 31 |
| 3.3.4 Dosage .....                                                                          | 32 |
| 3.3.5 Essai individuel .....                                                                | 32 |
| 4 Sources d'erreur et d'incertitude .....                                                   | 33 |
| 5 Précautions .....                                                                         | 33 |
| 5.1 Dosage d'un radionucléide pour lequel aucune source de référence n'est disponible ..... | 33 |
| 5.2 Dosage d'un mélange de radionucléides .....                                             | 34 |
| 5.3 Détecteurs à fenêtre mince .....                                                        | 34 |
| 5.4 Taux de comptage .....                                                                  | 34 |
| 5.5 Facteurs de correction liés à la géométrie .....                                        | 34 |
| 5.6 Statistiques de comptage et dynamique de mesure .....                                   | 34 |
| 5.7 Corrections de temps mort .....                                                         | 34 |
| 5.8 Correction de décroissance pendant la durée du comptage .....                           | 35 |
| 5.9 Géométrie de comptage .....                                                             | 36 |
| 5.10 Rendement d'absorption total en fonction de la fonction ou courbe d'énergie .....      | 36 |
| 5.11 Taux de comptage net .....                                                             | 36 |
| 5.12 Effets de la température .....                                                         | 36 |
| Bibliographie .....                                                                         | 37 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE –  
ÉQUIPEMENTS AVEC DÉTECTEURS À SCINTILLATION DE  
RAYONNEMENT GAMMA, POUR LE DOSAGE DE RADIONUCLÉIDES –  
ÉTALONNAGE ET ESSAIS INDIVIDUELS**

## 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 61453 a été préparée par le comité d'étude 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1997. Elle constitue une révision technique et une extension des types de détecteurs considérés.

La modification principale par rapport à l'édition précédente de la CEI 61453 est l'extension des types de détecteurs considérés. En plus des équipements basés sur des détecteurs à iodure de sodium, des équipements basés sur d'autres détecteurs à scintillateurs inorganiques destinés aux mesures de rayonnements photons sont considérés. Par ailleurs, l'Article 2 a été mis à jour.

La révision de la norme est destinée à réaliser:

- l'extension aux systèmes de détection à iodure de sodium basés sur des scintillateurs

inorganiques pour les mesures de photons;

- la revue des exigences existantes et la mise à jour de la terminologie, des définitions et des références normatives.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS        | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 45/645/FDIS | 45/646/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.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. 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 61453:2007

# **INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE – ÉQUIPEMENTS AVEC DÉTECTEURS À SCINTILLATION DE RAYONNEMENT GAMMA, POUR LE DOSAGE DE RADIONUCLÉIDES – ÉTALONNAGE ET ESSAIS INDIVIDUELS**

## **1 Domaine d'application**

La présente norme internationale spécifie les méthodes d'étalonnage et d'essais individuels des équipements de détection à scintillation destinés à la mesure des énergies des rayonnements gamma et des taux d'émission gamma de radionucléides, ainsi qu'au dosage de la radioactivité.

La présente norme internationale est applicable aux équipements de détection à scintillation basés sur des scintillateurs inorganiques pour la mesure des rayonnements photons.

L'identification des radionucléides et leur dosage dans diverses applications industrielles, environnementales et médicales constituent des applications types. L'équipement de détection consiste en trois composants principaux: un matériau scintillant qui produit un photon lumineux lorsqu'un rayonnement ionisant interagit avec lui, un ou plusieurs photomultiplicateurs ou photodiodes couplés au scintillateur qui convertissent les photons 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 du rendement. Les trois techniques suivantes sont considérées:

- a) le comptage total (voir 3.1) qui utilise un équipement comptant toutes les impulsions au dessus d'un seuil à basse énergie (voir 5.1, 5.2 et 5.3);
- b) le comptage avec un analyseur monocanal (SCA) (voir 3.2) qui utilise un équipement comportant une fenêtre de comptage qui détermine des limites haute et basse en énergie (voir 5.1, 5.2 et 5.3);
- c) le comptage avec analyseur multicanaux (voir 3.3) qui utilise un équipement avec de multiples fenêtres en énergie. Cette technique permet des mesures où le fond continu sous le pic d'absorption 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 multicanaux possédant un programme de stripage de spectre ou de déconvolution du pic. Ce cas n'est pas traité dans la présente norme.

## **2 Termes, définitions, symboles et abréviations**

### **2.1 Termes et définitions**

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

#### **2.1.1**

##### **exactitude de mesure**

étroitesse de l'accord entre le résultat d'un mesurage et la valeur conventionnellement vraie du mesurande

NOTE 1 Le concept d'"exactitude" est qualitatif.

NOTE 2 Il convient que le terme "précision" ne soit pas utilisé pour "exactitude".

### 2.1.2 activité

*A*

indication quantitative de la radioactivité de la quantité de radionucléides dans un état d'énergie particulier à un instant donné. L'activité est déterminée par le quotient de  $dN$  sur  $dt$ , où  $dN$  est la valeur attendue du nombre de transitions nucléaires spontanées à partir de cet état d'énergie pendant l'intervalle de temps  $dt$ .

$$A = \frac{dN}{dt}$$

L'unité de l'activité est l'inverse de la seconde ( $s^{-1}$ ). Le nom spécifique de l'unité de l'activité est le Becquerel (Bq), 1 Bq étant égal à une transition par seconde. L'unité précédente de l'activité était le Curie (Ci), 1 Ci étant égal à  $3,7 \times 10^{10}$  transitions par seconde

[CEI 60788:2004, rm-13-18]

### 2.1.3 dosage

détermination de l'activité d'un radionucléide dans un échantillon.

### 2.1.4 assemblage

chambre noire contenant un scintillateur monté, le photomultiplicateur, le diviseur de tension du photomultiplicateur

NOTE L'assemblage est utilisé pour l'essai du scintillateur monté.

[CEI 62372:2006, 3.1.4]

### 2.1.5 bruit de fond (d'un ensemble de mesure)

signal d'origine autre que le rayonnement à détecter

NOTE Ce bruit peut être:

- signaux provoqués par des rayonnements à l'intérieur ou à l'extérieur du détecteur autre que ceux qui nous concernent;
- signaux résultant d'un mauvais fonctionnement des circuits électriques du système de détection et leur alimentation électrique.

[VEI 394-39-08]

### 2.1.6 source d'essai

source radioactive utilisée pour vérifier le fonctionnement normal des appareils de mesure.

NOTE La source placée à une distance donnée du détecteur fournit une indication stable et reproductible.

[VEI 394-40-18]

### 2.1.7 correction du temps de résolution correction de temps mort

correction à appliquer au nombre d'impulsions observées, afin de tenir compte du nombre d'impulsions perdues dû au temps de résolution ou au temps mort.

[VEI 394-39-22]

### 2.1.8 rendement d'un détecteur (efficacité intrinsèque du détecteur)

rapport du nombre de photons ou particules détectées au nombre de photons ou particules de

même nature ayant frappé le détecteur pendant le même temps.

[VEI 394-38-17]

### 2.1.9

#### **étalonnage en énergie**

processus dont le but est d'établir une relation entre le positionnement de la fenêtre de l'analyseur d'amplitude des impulsions et l'énergie des photons.

[CEI 61948-1:2001, 3.5]

### 2.1.10

#### **résolution en énergie**

terme utilisé pour caractériser la capacité du détecteur de rayonnement à distinguer des photons d'énergies différentes.

NOTE La résolution en énergie peut être exprimée par le quotient de la pleine largeur à mi-hauteur (*LTMH*) du photopic par la position du centre du pic, exprimé en pourcentage.

[CEI 61948-1:2001, 3.6]

### 2.1.11

#### **pleine largeur à mi-hauteur**

##### ***LTMH***

dans la courbe de distribution concernant un pic simple, la distance entre les abscisses des deux points de la courbe du pic qui se trouvent à la moitié de la hauteur du pic

NOTE Si la courbe concerne plusieurs pics, une pleine largeur à mi-hauteur existe pour chaque pic.

[CEI 62372:2006, 3.1.11]

### 2.1.12

#### **temps actif**

durée pendant laquelle un ensemble de détection est sensible aux signaux d'entrée

[VEI 394-39-31]

### 2.1.13

#### **taux de comptage net**

taux de comptage observé (nombre de coups par unité de temps) corrigé du temps mort et ôté du taux de comptage du bruit de fond

### 2.1.14

#### **ensemble de détection de rayonnement**

ensemble destiné à produire un signal en réponse à un rayonnement ionisant incident

NOTE 1 Ce signal transporte l'information relative aux propriétés physiques du rayonnement.

NOTE 2 Un ou plusieurs ensembles peuvent être inclus dans la même unité.

[VEI 394-21-11]

### 2.1.15

#### **source de référence**

source radioactive étalon secondaire utilisée pour étalonner un appareil de mesure

[VEI 394-40-19]

### 2.1.16

#### **réponse (d'un ensemble de mesure de rayonnement)**

quotient, dans des conditions spécifiées, donné par la relation:

$$R = \frac{v}{v_c}$$

où

$v$  est la valeur de la grandeur mesurée par l'équipement ou l'ensemble soumis à essai;

$v_c$  est la valeur conventionnellement vraie de cette grandeur

NOTE 1 Le signal d'entrée d'un système de mesure peut être appelé stimulus, en anglais, et le signal de sortie peut être appelé réponse (VIM).

NOTE 2 Le terme réponse peut avoir plusieurs définitions. A titre d'exemple est indiquée la définition de la réponse d'un ensemble de mesure de rayonnement.

[VEI 394-40-21]

### 2.1.17

#### essai individuel de série

essai de conformité effectué sur chaque entité en cours ou en fin de fabrication

[VEI 394-40-03]

### 2.1.18

#### pic d'absorption totale

partie de la courbe de réponse spectrale correspondant à l'absorption totale de l'énergie des photons dans le détecteur de rayonnement

NOTE Ce pic représente l'absorption totale de l'énergie du photon par les processus d'interactions suivants,

- a) effet photoélectrique,
- b) effet Compton et
- c) production de paires.

[VEI 394-38-57]

## 2.2 Symboles et abréviations

|               |                                                                                                        |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A$           | Activité de l'échantillon;                                                                             |
| $A_r$         | l'activité de la source de référence;                                                                  |
| $C_n$         | le taux de comptage net d'un échantillon;                                                              |
| $C_{nr}$      | le taux de comptage net d'une source de référence;                                                     |
| $G$           | le taux d'émission de rayons gamma d'un échantillon;                                                   |
| $G_E$         | le taux d'émission de rayons gamma du rayonnement gamma à l'étude et d'énergie $E$ , d'un échantillon; |
| $G_r$         | le taux d'émission de rayons gamma d'une source de référence;                                          |
| $F_b$         | facteur correctif multiplicatif considérant la décroissance d'une source;                              |
| $F_m$         | facteur correctif multiplicatif considérant une décroissance pendant une mesure;                       |
| $\varepsilon$ | le rendement d'absorption totale;                                                                      |
| $\lambda$     | la constante de décroissance radionucléide;                                                            |
| $C$           | le taux de comptage observé;                                                                           |
| $C_o$         | le taux de comptage corrigé du temps mort;                                                             |
| $P$           | la probabilité d'émission absolue (des rayons gamma étudiés) par désintégration;                       |
| $R$           | la réponse;                                                                                            |
| $T_{1/2}$     | la demi-durée de vie du radionucléide;                                                                 |

|        |                                                                               |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------|
| $t$    | le temps de comptage;                                                         |
| $t_d$  | le temps mort;                                                                |
| $S_B$  | l'écart-type d'un bruit de fond;                                              |
| $v$    | est la valeur de la grandeur mesurée par l'équipement ou l'ensemble en essai; |
| $v_c$  | est la valeur conventionnellement vraie de cette grandeur;                    |
| $dV$   | le nombre de transitions spontanées pour ce niveau d'énergie;                 |
| $dt$   | l'intervalle de temps;                                                        |
| $LTMH$ | pleine largeur à mi-hauteur;                                                  |
| SCA    | analyseur monocanal;                                                          |
| MCA    | analyseur multicanaux.                                                        |

### 3 Procédure

#### 3.1 Equipements de comptage total

##### 3.1.1 Généralités

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

##### 3.1.2 Etalonnage de la réponse de l'équipement

**3.1.2.1** Régler le niveau bas du discriminateur à une valeur telle que les conditions suivantes soient satisfaites:

- les rayonnements gamma étudiés sont effectivement comptés;
- la réponse de l'équipement est aussi peu sensible que possible aux petites variations dans le réglage du discriminateur;
- tout bruit électronique est en dessous du seuil de comptage et la limite haute du discriminateur est établie à la position de réglage la plus élevée possible.

**3.1.2.2** Pour chaque radionucléide étudié, accumuler les comptages à l'aide d'une source radioactive de référence, dans la géométrie reproductible désirée (voir 5.5). Il convient d'enregistrer un comptage net d'au moins 10 000 coups (voir 5.4; 5.6).

**3.1.2.3** Effectuer la correction de temps mort comme il est spécifié en 5.7.

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

**3.1.2.5** Effectuer la correction de décroissance de l'activité de la source radioactive de référence depuis l'instant de son étalonnage jusqu'à l'instant auquel la mesure de taux de comptage est effectuée (voir 5.8).

**3.1.2.6** Calculer la réponse  $R$  comme suit:

$$R = \frac{C_{nr}}{A_r} \quad (1)$$

où

$C_{nr}$  est le taux de comptage net de la source de référence (en accord avec 3.1.2.4);

$A_r$  est l'activité de la source de référence (en accord avec 3.1.2.5).

### 3.1.3 Détermination de l'activité

**3.1.3.1** Avec les mêmes réglages de l'équipement qu'en 3.1.2, placer l'échantillon à mesurer dans la même géométrie que celle utilisée pour l'étalonnage de la réponse en activité (voir 5.5; 5.9).

**3.1.3.2** Accumuler un nombre suffisant de coups pour obtenir la précision statistique désirée (voir 5.4; 5.6).

**3.1.3.3** Corriger le taux de comptage du temps mort comme indiqué en 5.7.

**3.1.3.4** Déterminer le taux de comptage net de l'échantillon en soustrayant le taux de comptage du niveau de bruit de fond au taux de comptage total.

**3.1.3.5** Calculer l'activité  $A$  de l'échantillon par

$$A = \frac{C_n}{R} \quad (2)$$

où

$C_n$  est le taux de comptage net de l'échantillon (en accord avec 3.1.3.4);

$R$  est la réponse (en accord avec 3.1.2.6).

### 3.1.4 Essai individuel

**3.1.4.1** La reproductibilité des essais doit être réalisée par vérification de l'étalonnage de la réponse de l'équipement au moins une fois par semaine d'utilisation, à l'aide d'au moins une source de contrôle radioactive à vie longue, avec des énergies réparties sur la région étudiée. Il est nécessaire d'effectuer la correction de décroissance radioactive de la source depuis son étalonnage d'origine.

**3.1.4.2** L'étalonnage de la réponse d'un système qui reste inactif ou qui n'est pas couramment utilisé doit être contrôlé au moins tous les six mois à l'aide de sources radioactives de référence de radionucléides ayant des énergies réparties sur la région étudiée.

**3.1.4.3** Le niveau de bruit de fond de l'équipement 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.

**3.1.4.4** Les résultats de tous les contrôles de bon fonctionnement doivent être consignés, de manière à détecter 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.

### 3.2 Equipements à analyseur monocanal

#### 3.2.1 Généralités

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

#### 3.2.2 Etalonnage en énergie

Réaliser l'étalonnage en énergie de l'équipement sur la gamme d'énergie désirée, pour un gain donné. A l'aide de sources d'énergie connue, déterminer la relation entre les énergies gamma et les positionnements correspondants des niveaux bas et haut des discriminateurs. Mesurer le taux de comptage en fonction du réglage du niveau bas du discriminateur, avec des incréments d'énergie ne dépassant pas 2 % de la gamme d'énergie étudiée. Il convient de maintenir la largeur de la fenêtre constante et approximativement égale aux incréments de réglage du niveau bas du discriminateur. Le centre de la fenêtre correspondant au taux de comptage maximum pourra être considéré comme le centre du pic d'absorption totale. Une position optimale peut être trouvée en agissant sur les fonctions de réglage du taux de comptage autour du maximum. 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 étudiée. Il est recommandé d'utiliser des radionucléides émettant une raie unique ou double pour l'étalonnage en énergie.

#### 3.2.3 Etalonnage du rendement d'absorption totale

**3.2.3.1** Les réglages du niveau bas et de la largeur de la fenêtre du discriminateur seront établis afin d'inclure le(s) pic(s) d'absorption totale étudié(s).

**3.2.3.2** Pour chaque radionucléide étudié, accumuler les comptages à l'aide d'une source radioactive de référence, dans la géométrie reproductible désirée (voir 5.5). Il convient d'enregistrer un comptage net d'au moins 10 000 coups (voir 5.4; 5.6).

**3.2.3.3** Effectuer la correction de temps mort comme il est spécifié en 5.7.

**3.2.3.4** Déterminer le taux de comptage net en soustrayant le taux de comptage du niveau de bruit de fond au taux de comptage total. Les réglages de l'instrument doivent être les mêmes pour les deux comptages.

**3.2.3.5** Effectuer la correction de décroissance de l'activité de la source radioactive de référence depuis l'instant de son étalonnage jusqu'à l'instant auquel la mesure de taux de comptage est effectuée (voir 5.8).

**3.2.3.6** Calculer le rendement d'absorption totale ( $\varepsilon$ ) pour chaque énergie de rayon gamma comme il suit:

$$\varepsilon = \frac{C_{nr}}{G_r} \quad (3)$$

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

$$G_r = A_r \times P \quad (4)$$

#### 3.2.4 Détermination de l'activité

**3.2.4.1** Avec les mêmes réglages de l'équipement qu'en 3.2.3, placer l'échantillon à mesurer

dans la même géométrie que celle utilisée pour l'étalonnage du rendement (voir 5.5; 5.9).

**3.2.4.2** Accumuler un nombre suffisant de coups pour obtenir la précision statistique désirée (voir 5.4; 5.6).

**3.2.4.3** Corriger le taux de comptage du temps mort comme indiqué en 5.7.

**3.2.4.4** Déterminer le taux de comptage net de l'échantillon en soustrayant le taux de comptage du niveau de bruit de fond au taux de comptage total (voir 5.8).

**3.2.4.5** Calculer le taux d'émission gamma de l'échantillon par

$$G_E = \frac{C_n}{\varepsilon} \quad (5)$$

Pour calculer l'activité, il faut connaître le nombre de photons gamma émis par désintégration, soit

$$A = \frac{G_E}{P} \quad (6)$$

### 3.2.5 Essai individuel

**3.2.5.1** L'étalonnage en énergie de l'équipement 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 étudiée.

**3.2.5.2** La résolution en énergie de l'équipement doit être déterminée au moment de l'installation initiale et contrôlée au moins une fois par semaine d'utilisation. La résolution en énergie doit être réalisée en utilisant une source  $^{137}\text{Cs}$  et en mesurant les taux de comptage, la largeur de fenêtre étant inférieure à 1 % de l'étendue totale d'énergie. Il convient que la fenêtre soit déplacée par incréments de 1 % à partir de 10 % au-dessous du pic de 661,6 keV jusqu'à 10 % au-dessus. Le niveau de bruit de fond doit être déterminé au-dessous et au-dessus du pic et une ligne de base approximativement linéaire sous le pic sera déterminée pour corriger tous les taux de comptage mesurés des contributions respectives de la ligne de base. Il convient que  $LTMH$  soit calculée par interpolation sur chaque côté du pic.

**3.2.5.3** La vérification de l'étalonnage du rendement de l'équipement doit être contrôlée au moins une fois par mois d'utilisation à l'aide d'au moins une source radioactive de contrôle à vie longue, avec des énergies réparties sur la région étudiée. Il est nécessaire d'effectuer la correction de décroissance radioactive de la source depuis son étalonnage d'origine.

**3.2.5.4** L'étalonnage du rendement d'un système qui reste inactif ou qui n'est pas couramment utilisé, doit être contrôlé au moins tous les six mois à l'aide de sources radioactives de référence de radionucléides ayant des énergies réparties sur la région étudiée.

**3.2.5.5** Le niveau de bruit de fond de l'équipement 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.

**3.2.5.6** 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.

### 3.3 Équipements à analyseur multicanaux

#### 3.3.1 Généralités

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

#### 3.3.2 Etalonnage en énergie

Réaliser l'étalonnage en énergie de l'équipement sur la gamme d'énergie désirée, pour un gain donné. A l'aide de sources d'énergie connue, enregistrer un spectre incluant des pics d'absorption totale couvrant l'étendue d'énergie étudiée. Déterminer les numéros de canaux correspondant à deux énergies gamma situées près de chaque extrémité de la gamme d'énergie étudiée. 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 en énergie sera adaptée, sauf pour les régimes de basse énergie. 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.

#### 3.3.3 Etalonnage du rendement d'absorption totale (voir 5.10)

**3.3.3.1** Accumuler un spectre gamma à l'aide de sources de référence dans la géométrie de comptage reproductible désirée (voir 5.5). Il convient d'avoir un comptage d'au moins 10 000 coups dans chacun des pics gamma d'absorption totale étudié (voir 5.4; 5.6).

**3.3.3.2** Enregistrer la durée du temps de comptage actif (voir 5.4).

**3.3.3.3** Pour chaque source radioactive de référence, déterminer le comptage net dans les pics gamma d'absorption totale étudié (voir 5.11).

**3.3.3.4** Effectuer la correction de décroissance de l'activité de la source radioactive de référence depuis l'instant de son étalonnage jusqu'à l'instant auquel la mesure de taux de comptage est effectuée (voir 5.8).

**3.3.3.5** Calculer le rendement d'absorption totale ( $\varepsilon$ ) pour chaque énergie de rayonnement gamma comme il suit:

$$\varepsilon = \frac{C_{nr}}{G_r} \quad (7)$$

où

$C_{nr}$  est le taux de comptage net dans le pic d'absorption totale (en accord avec 3.3.3.2; 3.3.3.3);

$G_r$  est le taux d'émission gamma de la source radioactive de référence (en accord avec 3.3.3.4).

Si la source de référence est étalonnée pour l'activité, l'émission de rayonnement gamma est obtenue par l'équation (4) (voir 3.2.3.6).

**3.3.3.6** Pour obtenir l'étalonnage du rendement d'absorption totale à des énergies pour lesquelles il n'existe pas de source de référence, on tracera la courbe du rendement d'absorption totale (de 3.3.3.5) en fonction de l'énergie gamma (voir 5.12).