

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1452**

Première édition
First edition
1995-08

**Instrumentation nucléaire –
Mesure des taux d'émission gamma
de radionucléides – Etalonnage et
utilisation des spectromètres germanium**

**Nuclear instrumentation –
Measurement of gamma-ray emission rates
of radionuclides – Calibration and use of
germanium spectrometers**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1452: 1995

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

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

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 dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

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 in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
1452

Première édition
First edition
1995-08

**Instrumentation nucléaire –
Mesure des taux d'émission gamma
de radionucléides – Etalonnage et
utilisation des spectromètres germanium**

**Nuclear instrumentation –
Measurement of gamma-ray emission rates
of radionuclides – Calibration and use of
germanium spectrometers**

© CEI 1995 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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE XD

•
*For price, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	8
INTRODUCTION	10
Articles	
1 Domaine d'application et objet	12
2 Références normatives	14
3 Définitions et symboles	14
3.1 Sens spécial pour certains mots	14
3.2 Définitions	14
3.3 Symboles	22
4 Installation de l'appareillage	24
5 Procédures d'étalonnage et d'analyse des pics	26
5.1 Algorithme de recherche de pics	26
5.2 Détermination de la position et de la surface des pics	26
5.3 Etalonnage en énergie	28
5.4 Etalonnage en efficacité	28
5.4.1 Normalisation pour des radionucléides spécifiques	30
5.4.2 Efficacité du détecteur en fonction de l'énergie	30
5.4.3 Courbe ou tableau d'efficacité	32
6 Mesure du rayonnement gamma avec les spectromètres Ge	34
6.1 Mesure de l'énergie des rayonnements gamma	34
6.2 Mesure du taux d'émission gamma et de l'activité des radionucléides	34
6.2.1 Soustraction des pics parasites dans le bruit de fond	36
6.2.2 Décroissance radioactive	36
6.2.3 Empilement d'impulsions (sommation aléatoire)	40
6.2.4 Sommation en cascade (coïncidence)	42
6.2.5 Correction d'atténuation	44
7 Contrôle des performances de l'ensemble de spectrométrie	48
7.1 Horloges de l'analyseur multicanal	48
7.2 Réglage du décalage continu et du pôle-zéro	48
7.3 Etalonnage en énergie	48
7.4 Efficacité du système et résolution	50
7.5 Empilement des impulsions (sommation aléatoire)	50
8 Contrôle des performances du logiciel d'analyse	52
8.1 Essais de l'algorithme de recherche automatique de pic	54
8.2 Essais d'indépendance de la surface du pic par rapport au quotient amplitude brute du pic sur amplitude du fond continu	58
8.3 Essais des algorithmes de reconnaissance de pic double et d'ajustement des pics	60

CONTENTS

	Page
FOREWORD.....	9
INTRODUCTION.....	11
Clause	
1 Scope and object.....	13
2 Normative references.....	15
3 Definitions and symbols.....	15
3.1 Special word usage.....	15
3.2 Definitions.....	15
3.3 Symbols.....	23
4 Installation of instrumentation.....	25
5 Peak analysis and calibration procedures.....	27
5.1 Peak-finding algorithm.....	27
5.2 Peak position and area measurement.....	27
5.3 Energy calibration.....	29
5.4 Efficiency calibration measurement.....	29
5.4.1 Standardization for specific radionuclides.....	31
5.4.2 Detector efficiency as a function of energy.....	31
5.4.3 Efficiency function or look-up table.....	33
6 Gamma-ray measurements with Ge spectrometers.....	35
6.1 Measurement of gamma-ray energies.....	35
6.2 Measurement of gamma-ray emission rates and radionuclide activities.....	35
6.2.1 Subtraction of interference peaks in the background.....	37
6.2.2 Radioactive decay.....	37
6.2.3 Pulse pile-up (random summing).....	41
6.2.4 Cascade (coincidence) summing.....	43
6.2.5 Attenuation corrections.....	45
7 Performance tests of the spectrometry system.....	49
7.1 Multichannel-analyzer clocks.....	49
7.2 D.C. offset and pole-zero settings.....	49
7.3 Energy calibration.....	49
7.4 System efficiency and resolution.....	51
7.5 Pulse pile-up (random summing).....	51
8 Performance tests of the analysis software.....	53
8.1 Test of automatic peak-finding algorithm.....	55
8.2 Test of independence of peak-area from the gross peak-height to continuum-height ratio.....	59
8.3 Test of the doublet-peak finding and fitting algorithms.....	61

Articles	Pages
9	Vérification du processus complet d'analyse 62
9.1	Evaluation de l'importance des sommations en cascade 62
9.2	Erreur absolue sur la détermination de l'efficacité relative dans le pic d'énergie totale 66
9.3	Précision de l'efficacité dans le pic d'énergie totale 68
10	Identification d'un radionucléide 68
11	Incertitudes et composition des incertitudes 70
 Annexes	
A	Procédures de caractérisation d'un spectromètre gamma Ge 96
B	Mesure de la position d'un pic, de la surface nette et de leurs incertitudes 148
C	Equations pour corriger la sommation en cascade de rayonnements gamma 156
D	Construction de blindages pour les spectromètres Ge 178
E	Bibliographie 186

LISTE DES TABLEAUX

1	Surface nette de pic mesurée en fonction de l'amplitude du fond continu 58
2	Incertitudes 76
3	Contributions à l'incertitude 78
A.1	Réglage des canaux pour que la courbe d'énergie (canaux) passe par zéro 100

LISTE DES FIGURES

1	Efficacité dans le pic d'énergie totale en fonction de l'énergie gamma 80
2	$\epsilon_f \cdot E_f$ (keV) ^{0,835} en fonction de l'énergie gamma 82
3	Spécification des temps pour les corrections de décroissance 84
4	Ecart sur la surface du pic en fonction de l'amplitude du fond continu 86
5	Ecart sur les surfaces de doublets d'égale amplitude pour différentes séparations 88
6	Ecart sur les surfaces de doublets inégaux pour différents rapports d'amplitude 90
7	Correction de sommation en cascade pour le gamma de 591 keV de ¹⁵⁴ Eu 92
8	Spectre gamma Ge partiel d'une source composite à vie longue 94
A.1	Impulsions de sortie de l'amplificateur montrant des compensations de pôle correctes et incorrectes 134
A.2	Distribution de LTMH de pics spectraux en fonction de l'énergie 136
A.3	Spécification des temps lors du traitement des impulsions par le CAN 138
A.4	Correction des empilements en fonction du taux de comptage total intégral 140
A.5	Formes d'impulsions du préamplificateur et de l'amplificateur pour différentes formes d'impulsions test 142
A.6	Spectre gamma d'une source composite de référence 144
A.7	Motif mosaïque d'un filtre à air de référence 146
B.1	Pic bien résolu avec fond continu 154

Clause	Page
9	Verification of the entire analysis process 63
9.1	Assessment of the magnitude of cascade summing 63
9.2	Absolute error in the relative full-energy-peak efficiency 67
9.3	Accuracy of the full-energy-peak efficiency 69
10	Radionuclide identification 69
11	Uncertainties and uncertainty propagation 71
 Annexes	
A	Procedures for characterization of a Ge gamma-ray spectrometer 97
B	Measurement of peak position, net area and their uncertainties 149
C	Equations for the correction of cascade gamma-ray summing 157
D	Construction of shields for Ge spectrometers 179
E	Bibliography 186

LIST OF TABLES

1	Measured net-peak areas as a function of continuum height 59
2	Uncertainties 77
3	Uncertainty contributions 79
A.1	Adjustment of energy channels to yield energy equation with zero intercept 101

LIST OF FIGURES

1	Full-energy-peak efficiency as a function of gamma-ray energy 81
2	$\epsilon_f \cdot E_f$ (keV) ^{0,835} as a function of gamma-ray energy 83
3	Specification of times for decay corrections 85
4	Deviation in peak area as a function of continuum height 87
5	Deviation in equally sized doublet peak areas for different separations 89
6	Deviation in unequally sized doublet peak areas for different pulse-height ratios 91
7	Cascade-summing corrections for a ¹⁵⁴ Eu 591 keV gamma ray 93
8	Partial Ge gamma-ray spectrum of a long-lived mix 95
A.1	Amplifier output pulses showing correct and incorrect pole-zero cancellation 135
A.2	Distribution of FWHM of spectral peaks as a function of energy 137
A.3	Specification of times for pulse processing by an ADC 139
A.4	Pulse pile-up correction as a function of integral counting rate 141
A.5	Preamplifier and amplifier pulse shapes resulting from different pulser shapes ... 143
A.6	Gamma-ray spectrum of a mixed radionuclide standard 145
A.7	Mosaic pattern of an air-filter standard 147
B.1	Well-resolved peak with continuum 155

Figures	Pages
C.1 Schéma de désintégration à trois transitions	174
C.2 Schéma partiel de désintégration de ¹⁵⁴ Eu	176
D.1 Spectre gamma de bruit de fond enregistré en l'absence de source	182
D.2 Spectre gamma de bruit de fond enregistré avec un échantillon d'eau dans un récipient enveloppant	184

Withdrawn

Figures	Page
C.1 A three-transition decay scheme	175
C.2 Partial decay scheme of ^{154}Eu	177
D.1 Background gamma-ray spectrum taken with no sample	183
D.2 Background gamma-ray spectrum taken with a reentrant (Marinelli) beaker sample of water	185

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE –

Mesure des taux d'émission gamma de radionucléides – Etalonnage et utilisation des spectromètres germanium

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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles 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 de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La Norme internationale CEI 1452 a été établie par le comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
45/337/DIS	45/362/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.

Les annexes A, B, C, D et E sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

NUCLEAR INSTRUMENTATION –

Measurement of gamma-ray emission rates of radionuclides –
Calibration and use of germanium spectrometers

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 cooperation 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, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use 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.

International Standard IEC 1452 has been prepared by IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

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

DIS	Report on voting
45/337/DIS	45/362/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.

Annexes A, B, C, D and E are for information only.

INTRODUCTION

Un spectromètre gamma classique comprend un détecteur en germanium (Ge) avec son cryostat refroidi de manière mécanique ou par azote liquide, un préamplificateur, une source de polarisation du détecteur, un amplificateur, un convertisseur analogique/numérique (CAN), un dispositif de stockage multicanal du spectre et des afficheurs de données. Ces spectromètres comprennent ou sont communément associés à des ordinateurs et leur logiciel. Un blindage de protection contre les radiations entoure souvent le détecteur pour limiter le taux de comptage du bruit de fond (voir annexe D pour les directives de construction du blindage). Les photons (rayons X et gamma) interagissent avec le cristal de germanium pour produire des paires électron-trou. Ces électrons et trous sont groupés et forment une impulsion dont l'amplitude est proportionnelle à l'énergie libérée dans le volume actif du cristal de germanium. Ces impulsions sont amplifiées, mises en forme et triées d'après leur amplitude, à l'aide d'un convertisseur analogique/numérique (CAN) afin de produire un histogramme représentant, en fonction de l'énergie, le nombre de photons absorbés par le détecteur. Après empilement d'un nombre suffisant d'impulsions, l'histogramme affiche un spectre contenant un ou plusieurs pics avec une répartition normale (gaussienne) correspondant aux photons qui ont transmis toute leur énergie au détecteur.

Le taux d'émission d'une source $R(E)$ de rayonnement gamma d'énergie E est obtenu en divisant la surface nette $N(E)$ du pic d'énergie totale par le temps actif T_L et l'efficacité dans le pic d'énergie totale $\epsilon(E)$ du détecteur, pour la géométrie de comptage utilisée. Une courbe ou représentation fonctionnelle de l'efficacité du pic d'énergie totale permet une interpolation entre les points de calibration. Il est possible d'avoir à apporter des corrections pour

- 1) les pertes d'impulsions dues à leur empilement (pour des taux de comptage élevés);
- 2) les sommations en cascade (coïncidences);
- 3) la décroissance de la source pendant l'échantillonnage (par exemple avec des filtres à air) et le comptage;
- 4) la décroissance de la source depuis une période de comptage précédente; et
- 5) l'atténuation de photons à l'intérieur et à l'extérieur de la source, qui ne sont pas prises en compte par la calibration de l'efficacité du pic d'énergie totale.

INTRODUCTION

A typical gamma-ray spectrometer consists of a germanium (Ge) detector with its liquid-nitrogen or mechanically refrigerated cryostat and preamplifier, detector bias supply, amplifier, analog-to-digital converter (ADC), multichannel storage of the spectrum, and data-readout devices. The spectrometers frequently include or are associated with computers and their software. A radiation shield often surrounds the detector to reduce the counting rate from room background radiation (see annex D for shield construction guidelines). Photons (X and gamma rays) interact with the Ge crystal to produce electron-hole pairs. These electrons and holes are collected to produce a pulse whose amplitude is proportional to the energy deposited in the active volume of the Ge crystal. These pulses are amplified, shaped and sorted according to pulse height using an analog-to-digital converter (ADC) to produce a histogram showing, as a function of energy, the number of photons absorbed by the detector. After the accumulation of a sufficient number of pulses the histogram will display a spectrum with one or more peaks with an approximately normal (Gaussian) distribution corresponding to photons that transferred their entire energy to the detector.

A source emission rate, $R(E)$, for a gamma ray of energy E is determined by dividing the net area, $N(E)$, in the full-energy peak by the live time, T_L , and full-energy-peak efficiency, $\epsilon(E)$, of the detector for the counting geometry used. A curve or functional representation of the full-energy-peak efficiency permits interpolation between available calibration points. Corrections may be needed for

- 1) the loss of pulses due to pulse pile-up (at high counting rates);
- 2) cascade (coincidence) summing;
- 3) the decay of the source during sampling (e.g. with air filters) and counting;
- 4) the decay of the source from a previous time to the counting period; and
- 5) attenuation of photons within and external to the source that is not accounted for by the full-energy-peak efficiency calibration.