

**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

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

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.

INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE –

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

1 Domaine d'application et objet

L'objet de la présente norme est d'établir des méthodes de calibration et d'utilisation de spectromètres au germanium pour la mesure de l'énergie et des taux d'émission de rayonnements gamma s'échelonnant entre 59 keV et environ 3 000 keV et, à partir de ces mesures, le calcul de l'activité des sources. Les conditions minimales de recherche automatisée de pic sont indiquées. Cette norme définit aussi les méthodes de mesure de l'efficacité dans le pic d'énergie totale avec des sources calibrées.

Les essais de performances décrits permettent de vérifier que le fonctionnement du spectromètre Ge reste dans les limites acceptables. Ces essais évaluent les limites des algorithmes utilisés pour localiser et adapter des pics simples et multiplets. Des méthodes pour mesurer et corriger les empilements d'impulsions sont suggérées. Un essai permettant de vérifier l'ampleur approximative des sommations en cascade est décrit. Des techniques d'examen sont recommandées pour détecter dans les résultats d'analyse spectrale des erreurs importantes dues à la sommation de rayonnements gamma en cascade dans le détecteur. Des suggestions sont faites pour l'établissement des bibliothèques de données pour l'identification des radionucléides, pour les corrections de décroissance et pour la conversion des taux d'émission de rayonnement gamma en taux de décroissance.

La mesure des taux d'émission des rayons X n'est pas incluse car les fonctions d'ajustement sont différentes pour les pics X dont les formes sont intrinsèquement différentes de celles des pics de rayonnement gamma. De plus, les pics des rayons X sont des multiplets complexes (par exemple les rayons X_K de TI comprennent huit composantes formant quatre pics individuels partiellement résolus). Cette norme n'aborde pas la mesure des taux d'émission concernant les pics d'annihilation d'un rayonnement ou des pics d'échappement simple et double résultant d'une libération d'énergie partielle dans le détecteur par la production de paires. Il est possible que les pics d'échappement puissent nécessiter des fonctions d'ajustement différentes de celles requises pour les pics d'énergie totale équivalents. Par ailleurs, la largeur des pics d'annihilation de rayonnement et d'échappement simple est supérieure à celle du pic d'énergie gamma correspondante. Cette norme n'aborde pas les méthodes de mesure des limites inférieures de détection du fait qu'elles s'appliquent à des radionucléides particuliers.

Le but de cette norme est de fournir une base destinée à la calibration de routine et à l'utilisation de détecteurs à semi-conducteurs en germanium (Ge) pour la mesure du taux d'émission de rayonnements gamma et donc de l'activité des radionucléides d'un échantillon. Elle est destinée à des personnes connaissant les principes des spectromètres gamma germanium et qui sont chargées du développement de méthodes correctes de calibration et d'utilisation de ces détecteurs. Cette norme est essentiellement destinée aux mesures analytiques habituelles. La CEI 973 lui est apparentée.

NUCLEAR INSTRUMENTATION –

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

1 Scope and object

This standard establishes methods for the calibration and use of germanium spectrometers for the measurement of gamma-ray energies and emission rates over the energy range from 59 keV to approximately 3 000 keV and the calculation of source activities from these measurements. Minimum requirements for automated peak finding are stated. This standard establishes methods for measuring the full-energy peak efficiency with calibrated sources.

Performance tests are described that ascertain if the Ge spectrometer is functioning within acceptable limits. These tests evaluate the limitations of the algorithms used for locating and fitting single and multiplet peaks. Methods for the measurement of and the correction for pulse pile-up are suggested. A test to ascertain the approximate magnitude of cascade summing is described. Techniques are recommended for the inspection of spectral-analysis results for large errors resulting from summing of cascade gamma rays in the detector. Suggestions are provided for the establishment of data libraries for radionuclide identification, decay corrections and the conversion of gamma-ray emission rates to decay rates.

The measurement of X-ray emission rates is not included because different functional fits are required for X-ray peaks, which have intrinsically different peak shapes than gamma-ray peaks. Further, X-ray peaks are complex multiplets (e.g. the K X-rays of Tl are composed of eight components that form four partially resolved individual peaks). This standard does not address the measurement of emission rates of annihilation radiation peaks or single- and double-escape peaks resulting from partial energy deposition in the detector from pair production. Escape peaks may require different fitting functions than comparable full-energy peaks. Further, annihilation radiation and single-escape peaks have a different and larger width than a corresponding gamma-ray energy. Discussion of acceptable methods for measuring the lower limits of detection as they relate to specific radionuclides is beyond the scope of this standard.

The object of this standard is to provide a basis for the routine calibration and use of germanium (Ge) semiconductor detectors for the measurement of gamma-ray emission rates and thereby the activities of the radionuclides in a sample. It is intended for use by persons who have an understanding of the principles of Ge gamma-ray spectrometry and are responsible for the development of correct procedures for the calibration and use of such detectors. This standard is primarily intended for routine analytical measurements. A related document is IEC 973.

2 Références normatives

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

CEI 973: 1989, *Méthodes d'essais de détecteurs gamma en germanium*

CEI 1151: 1992, *Instrumentation nucléaire – Amplificateurs et préamplificateurs utilisés avec des détecteurs de rayonnements ionisants – Méthodes d'essais*

CEI 1342: 1995, *Instrumentation nucléaire – Analyseurs d'amplitude multicanaux – Principales caractéristiques, prescriptions techniques et méthodes d'essai*

2 Normative references

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

IEC 973: 1989, *Test procedures for germanium gamma-ray detectors*

IEC 1151: 1992, *Nuclear instrumentation – Amplifiers and preamplifiers used with detectors of ionizing radiation – Test procedures*

IEC 1342: 1995, *Nuclear instrumentation – Multichannel pulse height analyzers – Main characteristics, technical requirements and test methods*