

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60973

Première édition
First edition
1989-06

**Méthodes d'essais de détecteurs gamma
en germanium**

**Test procedures for germanium gamma-ray
detectors**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60973: 1989

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
60973**

Première édition
First edition
1989-06

**Méthodes d'essais de détecteurs gamma
en germanium**

**Test procedures for germanium gamma-ray
detectors**

© IEC 1989 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

W

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Symboles et définitions	6
3.1 Symboles	6
3.2 Définitions (par ordre alphabétique)	10
4. Introduction	26
4.1 Interaction du rayonnement gamma avec la matière	26
4.2 Le détecteur gamma en germanium	28
4.3 Types de détecteurs germanium	28
5. Conditions générales	30
6. Mesures de spectrométrie en énergie	32
6.1 Radionucléides utilisés comme sources	32
6.2 Méthode	34
6.3 Surface du pic et fond continu du spectre	34
6.4 Abscisse du sommet du pic	34
6.5 LTMH, LT 0,1 M, et LT 0,02 M d'un pic	36
6.6 Rapport pic sur Compton	36
6.7 Résolution en énergie	36
6.8 Résolution électrique et contribution du détecteur	38
6.9 Asymétrie du pic	38
6.10 Résolution d'un détecteur puits	38
6.11 Energies conseillées	40
7. Efficacité de comptage	40
7.1 Efficacité pour une source ponctuelle à 25,0 cm	40
7.1.1 Efficacité absolue de comptage dans le pic d'énergie totale	40
7.1.2 Efficacité relative de comptage dans le pic d'absorption totale	42
7.2 Efficacité d'un détecteur gamma coaxial type puits	42
7.3 Efficacité d'un détecteur gamma dans une géométrie utilisant un récipient enveloppant normalisé	44
7.3.1 Généralités	44
7.3.2 Source normalisée en récipient enveloppant (SNRE)	44
7.3.3 Le récipient	46
7.3.4 Matière radioactive de remplissage	46
7.3.5 La mesure	48
7.3.6 Dossier de la SNRE	50
8. Indice d'épaisseur de fenêtre	50
9. Résolution temporelle	52
9.1 Dispositif de mesure	52
9.2 Résolution temporelle	52
10. Possibilités de subir des cycles de température	54
10.1 Détecteurs cyclables	54
10.2 Détecteurs régénérables	54
11. Détecteurs germanium à bas bruit de fond	56
FIGURES	58
TABLEAUX	76

COMMISSIONS ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES D'ESSAIS DE DÉTECTEURS
GAMMA EN GERMANIUM

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes 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.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes n° 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Cette norme remplace les Publications 430 (1973) 656 (1979) et 697 (1981) de la CEI.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
45(BC)189	45(BC)192

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 publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme:

- Publications n°s 333 (1983): Méthodes d'essais des semicteurs pour particules chargées.
759 (1983): Méthodes d'essais normalisés des spectromètres d'énergie X à semicteurs.

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. Symbols and definitions	7
3.1 Symbols	7
3.2 Definitions (in alphabetical order)	11
4. Introduction	27
4.1 The interaction of gamma-rays with matter	27
4.2 The germanium gamma-ray detector	29
4.3 Germanium detector types	29
5. General requirements	31
6. Energy spectroscopy measurements	33
6.1 Useful radionuclide sources	33
6.2 Method	35
6.3 Peak area and spectral background	35
6.4 Peak center	35
6.5 FWHM, FW 0,1 M, and FW 0,02 M of a peak	37
6.6 Peak-to-compton ratio	37
6.7 Spectral energy resolution	37
6.8 Total noise linewidth and detector contribution	39
6.9 Peak asymmetry	39
6.10 Well-type detector resolution	39
6.11 Preferred energies	41
7. Counting efficiency	41
7.1 Efficiency for a point source at 25,0 cm	41
7.1.1 Absolute full-energy peak counting efficiency	41
7.1.2 Relative full-energy peak counting efficiency	43
7.2 Well-type coaxial detector gamma-ray efficiency	43
7.3 Detector gamma-ray efficiency using a standard reentrant beaker geometry	45
7.3.1 General	45
7.3.2 Reentrant beaker standard source (RBSS)	45
7.3.3 The beaker	47
7.3.4 Radioactive filling material	47
7.3.5 The measurement	49
7.3.6 RBSS documentation	51
8. Window thickness index	51
9. Timing	53
9.1 Measuring system	53
9.2 Timing resolution	53
10. Temperature cyclability	55
10.1 Cyclable detectors	55
10.2 Annealable detectors	55
11. Low background germanium detectors	57
FIGURES	59
TABLES	77

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**TEST PROCEDURES FOR GERMANIUM
GAMMA-RAY DETECTORS**

FOREWORD

- 1) 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.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendations for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 45: Nuclear Instrumentation.

This standard replaces IEC Publications 430 (1973), 656 (1979) and 697 (1981).

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

Six Months' Rule	Report on Voting
45(CO)189	45(CO)192

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

The following IEC publications are quoted in this standard:

- Publications Nos. 333 (1983): Test procedures for semiconductor charged-particle detectors.
759 (1983): Standard test procedures for semiconductor X-ray energy spectrometers.
-

MÉTHODES D'ESSAIS DE DÉTECTEURS GAMMA EN GERMANIUM

1. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux détecteurs de rayonnements en germanium qui sont principalement utilisés en détection et en spectrométrie à haute résolution du rayonnement gamma. Ces dispositifs sont également utilisés pour la spectrométrie X et occasionnellement pour la spectrométrie de particules chargées.

Cette norme décrit les mesures des caractéristiques qui déterminent les performances du système de détection et qui sont importantes pour l'utilisateur du détecteur. Les techniques de mesure décrites ont été choisies de manière à être facilement mises en œuvre par les fabricants et les utilisateurs de détecteurs en germanium.

2. Objet

L'objet de la présente norme est d'établir des méthodes d'essais normalisés pour les détecteurs gamma en germanium afin que les mesures aient la même signification pour tous les fabricants et utilisateurs.

Tous les essais décrits dans cette norme ne sont pas obligatoires, mais les essais qui sont utilisés pour spécifier les performances doivent être réalisés suivant la procédure qui y est décrite.

3. Symboles et définitions

3.1 Symboles

A	= surface du pic
A_b	= surface du bruit de fond sous le pic
A_t	= surface totale du pic
a, b	= constantes caractérisant le bruit
B	= largeur de bande
C	= capacité électrique
C_c	= condensateur calibré utilisé pour coupler le générateur d'impulsions au circuit en essai
C_{eff}	= capacité effective d'entrée d'un préamplificateur
C_f	= capacité de contre-réaction dans la boucle sensible à la charge d'un préamplificateur
C_t	= capacité totale à l'entrée d'un préamplificateur
Δ	= largeur totale à mi-hauteur (LTMH) d'un pic spectral
ΔE_A	= LTMH, exprimée en unités d'énergie, due au bruit de l'amplificateur
ΔE_D	= LTMH, exprimée en unités d'énergie, due au bruit du détecteur
ΔE_E	= LTMH, exprimée en unités d'énergie, due au bruit électronique hormis la contribution du détecteur au bruit
ΔE_o	= LTMH, exprimée en unités d'énergie, due à l'ensemble des facteurs autres que le bruit électronique

TEST PROCEDURES FOR GERMANIUM GAMMA-RAY DETECTORS

1. Scope

This standard applies to germanium radiation detectors which are primarily used for detection and high-resolution spectroscopy of gamma radiation. These devices are also used for X-ray spectroscopy and occasionally for charged particle spectroscopy.

This standard describes the measurement of detector system performance characteristics which are important to the detector user. The measurement techniques described have been selected to be readily available to manufacturers and users of germanium detectors.

2. Object

The object of this standard is to establish standard test procedures for germanium gamma-ray detectors so that measurements have the same meaning to all manufacturers and users.

Not all tests described in this standard are mandatory, but tests which are used to specify performance shall be performed in accordance with the procedures described herein.

3. Symbols and definitions

3.1 Symbols

A	= peak area
A_b	= peak background area
A_t	= total peak area
a, b	= constants characterizing noise
B	= bandwidth
C	= electrical capacitance
C_c	= calibrated capacitor used to couple pulse generator to circuit under test
C_{eff}	= effective input capacitance of a preamplifier
C_f	= feedback capacitance in the charge-sensitive loop of a preamplifier
C_t	= total capacitance at preamplifier input
Δ	= full width at half maximum (FWHM) of a spectral peak
ΔE_A	= FWHM, expressed in units of energy, due to amplifier noise
ΔE_D	= FWHM, expressed in units of energy, due to detector noise
ΔE_E	= FWHM, expressed in units of energy, due to electronic noise without the detector noise contribution
ΔE_o	= FWHM, expressed in units of energy, due to all factors other than electronic noise

ΔE_s	= LTMH, exprimée en unités d'énergie, obtenue dans une mesure de résolution sur un spectre
ΔE_T	= LTMH, exprimée en unités d'énergie, due à l'effet combiné des bruits du détecteur et de l'amplificateur
ΔN_A	= LTMH, exprimée en canaux, due au bruit de l'amplificateur
ΔN_D	= LTMH, exprimée en canaux, due au bruit du détecteur
ΔN_E	= LTMH, exprimée en canaux, due au bruit électronique hormis la contribution du détecteur au bruit
ΔN_O	= LTMH, exprimée en canaux, due à l'ensemble des facteurs autres que le bruit électronique
ΔN_s	= LTMH, exprimée en canaux, mesurée sur un pic d'un spectre utilisé pour la détermination de la résolution en énergie
ΔN_T	= LTMH, exprimée en canaux, due à l'effet combiné des bruits du détecteur et de l'amplificateur
ΔQ_A	= LTMH, exprimée en unités de charge, due au bruit de l'amplificateur
ΔQ_D	= LTMH, exprimée en unités de charge, due au bruit du détecteur
ΔQ_E	= LTMH, exprimée en unités de charge, due au bruit électronique hormis la contribution du détecteur au bruit
ΔQ_T	= LTMH, exprimée en unités de charge, due à l'effet combiné des bruits du détecteur et de l'amplificateur
Δt	= durée d'une impulsion, l'intervalle de temps entre les points d'amplitude moitié d'une impulsion
ΔV_e	= signal de tension différentielle dû à la non-linéarité d'un amplificateur
E, E_i	= énergie d'une particule ou d'un rayonnement (ou énergie d'une valeur déterminée, E_i , où i est un entier, 1, 2, ...)
ε	= énergie moyenne de création d'une paire électron-trou dans un détecteur semiconducteur
e	= charge de l'électron
e_{ni}	= racine carrée de la tension quadratique moyenne de bruit ramené à l'entrée du préamplificateur
e_{no}	= racine carrée de la tension quadratique moyenne de bruit
e_{qi}	= racine carrée du bruit quadratique moyen en unités de charge à l'entrée de l'amplificateur
I	= courant électrique
I_d	= courant de fuite du détecteur
N_c	= nombre de coups dans le canal c d'un spectre d'analyseur d'amplitude multicanal, où le canal c est situé dans une bande d'énergie spécifiée dans le fond Compton
N_x	= nombre de coups dans le canal X d'un spectre d'analyseur d'amplitude multicanal
Q	= charge électrique
R	= résistance électrique
T	= température absolue
t_o	= temps de montée d'un détecteur dû aux effets combinés du temps de collection des charges et du temps de montée de l'électronique (10% à 90%)
$t_{0.5}$	= largeur temporelle de l'impulsion à mi-hauteur
t_c	= temps de collection des charges d'un détecteur (10% à 90%)
t_d	= temps de décroissance de l'impulsion (90% à 10% de l'amplitude crête)
t_r	= temps de montée de l'impulsion (10% à 90% de son amplitude crête)
τ	= constante de temps
τ_d	= constante de temps de décroissance d'une impulsion
V	= tension électrique

ΔE_S	= FWHM, expressed in units of energy, derived in spectral energy resolution measurement
ΔE_T	= FWHM, expressed in units of energy, due to the combined effects of detector and amplifier noise
ΔN_A	= FWHM, expressed in channels, due to amplifier noise
ΔN_D	= FWHM, expressed in channels, due to detector noise
ΔN_E	= FWHM, expressed in channels, due to electronic noise without the detector noise contribution
ΔN_O	= FWHM, expressed in channels, due to all factors other than electronic noise
ΔN_s	= FWHM, expressed in channels, of a spectral peak used for energy resolution determination
ΔN_T	= FWHM, expressed in channels, due to the combined effect of detector and amplifier noise
ΔQ_A	= FWHM, expressed in units of charge, due to amplifier noise
ΔQ_D	= FWHM, expressed in units of charge, due to detector noise
ΔQ_E	= FWHM, expressed in units of charge, due to the electronic noise without the detector noise contribution
ΔQ_T	= FWHM, expressed in units of charge, due to the combined effects of detector and amplifier noise
Δt	= duration of a pulse, the time interval between the half amplitude points of a pulse
ΔV_c	= voltage difference signal related to the nonlinearity of an amplifier
E, E_i	= energy of a particle or radiation (or energy of a specific value, E_i , where i is an integer, 1, 2, ...)
ε	= average energy required to form one hole-electron pair in a semiconductor detector
e	= charge of the electron
e_{ni}	= equivalent root-mean-square noise voltage referred to the preamplifier input
e_{no}	= root-mean-square noise voltage
e_{qi}	= root-mean-square noise in units of charge at the amplifier input
I	= electric current
I_d	= detector leakage current
N_c	= number of counts in channel c of a multichannel pulse-height analyzer spectrum where channel c lies within a specified energy range within the Compton continuum
N_X	= number of counts in channel X of a multichannel pulse-height analyzer spectrum
Q	= electric charge
R	= electrical resistance
T	= absolute temperature
t_o	= observed detector rise time due to the combined effects of the charge collection time and electronic rise time (10% to 90%)
$t_{0,5}$	= pulse width at half maximum
t_c	= charge collection time in a detector (10% to 90%)
t_d	= pulse decay time (90% to 10% of peak height)
t_r	= pulse rise time (10% to 90% of its peak value)
τ	= time constant
τ_d	= time constant for the decay of a pulse
V	= electric voltage

V_a	= amplitude de l'impulsion de tension à la sortie de l'amplificateur
V_b	= tension de polarisation du détecteur
V_g, V_{gi}	= tension de sortie d'un générateur d'impulsions de précision et tension correspondant à l'énergie E_i
V_p, V_{pi}	= amplitude de l'échelon de tension appliqué à un condensateur calibré C_c par le générateur d'impulsions et tension correspondant à l'énergie E_i
X, X_i	= numéro de canal et numéro de canal correspondant à l'énergie E_i
X	= numéro de canal interpolé correspondant au maximum d'un pic monoénergétique d'un spectre
Z	= impédance caractéristique

3.2 Définitions (par ordre alphabétique)

Amplificateur à seuil — (Biased amplifier)

Amplificateur donnant un signal de sortie pratiquement nul pour toutes les impulsions d'entrée inférieures à un seuil et possédant, jusqu'à une amplitude maximale donnée, un gain incrémental constant pour toutes les impulsions d'entrée supérieures au seuil.

Bruit équivalent à l'entrée (d'un amplificateur linéaire) — (Equivalent noise referred to input)

La valeur du bruit à l'entrée qui produirait à la sortie la même valeur que produit la source de bruit réelle.

Canal, surface (dans un détecteur semiconducteur) — (Channel, surface)

Zone mince à la surface d'un semiconducteur, de conductivité de type p ou de type n, créée par un champ électrique, par exemple celui provoqué par les charges piégées dans les couches superficielles.

Canalisation, réseau (dans un détecteur semiconducteur) — (Channeling, lattice)

Phénomène qui se traduit par une dépendance de la perte d'énergie linéique de particules ionisantes vis-à-vis des directions cristallographiques.

Capacité (d'un détecteur semiconducteur) — (Capacitance)

La capacité pour des signaux faibles mesurée entre les bornes du détecteur pour des conditions spécifiées de polarisation et de fréquence.

Claquage (d'une diode semiconductrice) — (Breakdown)

Phénomène se produisant dans une diode polarisée en inverse qui se traduit par une transition d'une région de haute résistance dynamique à une région de résistance dynamique très inférieure pour des valeurs croissantes du courant inverse.

Claquage par avalanche (d'un composant semiconducteur) — (Avalanche breakdown)

Claquage produit par la multiplication cumulative de porteurs de charge créés par collisions ionisantes induites par le champ électrique.

Compensation au lithium — (Lithium drifting)

Technique pour compenser du matériau p en provoquant une dérive des ions lithium sous l'action combinée de la chaleur et d'un champ électrique de manière à compenser la charge des impuretés acceptrices fixes.

V_a	= amplitude of pulse amplifier output voltage
V_b	= detector bias voltage
V_g, V_{gi}	= output voltage of precision pulse generator, and that voltage corresponding to energy E_i
V_p, V_{pi}	= amplitude of the voltage step impressed on a calibrated capacitor C_c by the pulse generator, and that voltage amplitude corresponding to energy E_i
X, X_i	= channel number, and that channel number corresponding to energy E_i
X	= interpolated channel number corresponding to the maximum of a monoenergetic spectral peak
Z	= characteristic impedance

3.2 Definitions (in alphabetical order)

Avalanche breakdown (of a semiconductor device) — (Claquage par avalanche)

A breakdown that is caused by the cumulative multiplication of charge carriers through field-induced impact ionization.

Ballistic deficit — (Déficit balistique)

The loss in signal amplitude that occurs when the charge collection time in a detector is a significant fraction of the amplifier's differentiating time constant.

Band gap (in a semiconductor) — (Largeur de bande interdite)

The difference in energy between the energy level of the bottom of the conduction band and the energy level of the top of the valence band.

Baseline (at pulse peak) — (Ligne de base)

The instantaneous value that the voltage would have had at the time of the pulse peak in the absence of that pulse.

Bias (of a semiconductor radiation detector) — (Tension de polarisation)

The voltage applied to a detector to produce the electric field to sweep out the signal charge.

Biased amplifier — (Amplificateur à seuil)

An amplifier giving essentially zero output for all inputs below a threshold and having constant incremental gain for all inputs above the threshold up to a specified maximum amplitude.

Bias resistor (of a semiconductor radiation detector) — (Résistance de polarisation)

The resistor through which bias voltage is applied to a detector.

Breakdown (of a semiconductor diode) — (Claquage)

A phenomenon occurring in a reverse-biased semiconductor diode, the initiation of which is observed as a transition from a region of high dynamic resistance to a region of substantially lower dynamic resistance for increasing magnitude of reverse current.

Breakdown region (of a semiconductor diode characteristic) — (Zone de claquage)

That entire region of the voltage-current characteristic beyond the initiation of breakdown for increasing magnitude of reverse current.

Constante de temps de décroissance — (Decay time constant)

Le temps mis par une forme d'onde exponentielle pour décroître à $1/e$ de l'amplitude initiale.

Contact à barrière de Schottky — (Schottky barrier contact)

Contact métal-semiconducteur dont le caractère redresseur est fortement influencé par la différence de travail de sortie des deux matériaux. Ces contacts peuvent comporter un composé métal-semiconducteur d'interface.

Contact à barrière de surface — (Surface barrier contact)

Contact métal-isolant-semiconducteur (MIS) dont le caractère redresseur est dominé ou fortement influencé par la charge piégée à l'interface et dans l'isolant.

Contact implanté — (Ion-implanted contact)

Contact de détecteur consistant en une jonction réalisée par implantation ionique.

Contact non injectant (d'un détecteur semiconducteur) — (Non-injecting contact)

Contact purement ohmique, c'est-à-dire qui présente une caractéristique courant-tension linéaire dans tout son domaine de fonctionnement.

Courant de fuite (d'un détecteur semiconducteur) — (Leakage current)

Le courant total qui s'écoule à la tension d'utilisation, en l'absence de rayonnement.

Déficit balistique — (Ballistic deficit)

La perte d'amplitude du signal qui se produit lorsque le temps de collection du détecteur est une fraction significative de la constante de temps de différentiation de l'amplificateur.

Détecteur à barrière de Schottky — (Schottky barrier radiation detector)

Détecteur de rayonnement dont le contact bloquant est une barrière de Schottky.

Détecteur à barrière de surface — (Surface barrier radiation detector)

Détecteur de rayonnement dont la principale jonction redresseuse est un contact à barrière de surface.

Détecteur à jonction diffusée — (Diffused-junction detector)

Détecteur dans lequel la jonction p-n (ou n-p) est réalisée par diffusion d'impuretés acceptrices (ou donatrices).

Détecteur coaxial — (Coaxial detector)

Détecteur de rayonnement dans lequel les deux électrodes sont entièrement ou partiellement coaxiales. Généralement une extrémité de chaque contact cylindrique est fermée (détecteur coaxial fermé) mais les deux extrémités peuvent être ouvertes (détecteur coaxial vrai).

Breakdown voltage (of a semiconductor diode) — (Tension de claquage)

The voltage measured at a specified current in the breakdown region.

Capacitance (of a semiconductor radiation detector) — (Capacité)

The small-signal capacitance measured between terminals of the detector under specified conditions of bias and frequency.

Channel, surface (of a semiconductor radiation detector) — (Canal, surface)

A thin region at a semiconductor surface, of p- or n-type conductivity created by the action of an electric field, for example, that due to charges trapped in surface layers.

Channelling, lattice (in a semiconductor radiation detector) — (Canalisation, réseau)

A phenomenon that results in a crystallographic directional dependence of the rate of energy loss of ionizing particles.

Charge carrier (of a semiconductor) — (Porteur de charge)

A mobile conduction electron or mobile hole.

Charge collection time (of a semiconductor radiation detector) — (Temps de collection des charges)

The time interval, after the passage of an ionizing particle, for the integrated current flowing between the terminals of the detector to increase from 10% to 90% of its final value.

Charge-sensitive preamplifier — (Préamplificateur de tension)

An amplifier, preceding the main amplifier, in which the output signal amplitude is proportional to the charge injected at the input. See voltage-sensitive preamplifier.

Coaxial detector — (DéTECTEUR coaxial)

A semiconductor radiation detector in which all or part of the two electrical contacts are substantially coaxial. Typically one end of each contact configuration is closed (closed-end coaxial detector), but both ends may be open (open-end coaxial detector).

Cooled-input FET preamplifier — (Préamplificateur à TEC d'entrée refroidi)

A preamplifier in which the input FET (Field Effect Transistor) is cooled to reduce noise.

Constant-fraction discriminator — (Discriminateur à fraction constante)

A pulse discriminator which gives an output when the amplitude of the input signal, delayed, matches a selected fraction of the undelayed signal. The instant of matching is invariant with input-signal amplitude, and if the delay is less than the fastest charge collection time, the timing spread in the instant of matching will be less than that in the charge collection time. The timing jitter is minimized by appropriate choices of fraction and delay (see Figure 9.1.2).

Conventional-electrode coaxial detector (jargon) — (DéTECTEUR coaxial conventionnel [jargon])

A coaxial detector in which the outer contact is an n-type layer.

Détecteur coaxial conventionnel (jargon) — (Conventional-electrode coaxial detector [jargon])

Détecteur coaxial dont le contact extérieur est une couche de type n.

Détecteur coaxial inversé — (Reverse-electrode coaxial detector)

Détecteur coaxial dont le contact extérieur est une couche de type p.

Détecteur coaxial puits — (Well-type coaxial detector)

Détecteur coaxial monté et encapsulé de telle manière que les échantillons radioactifs puissent être introduits à l'intérieur de l'électrode cylindrique intérieure et soient entourés presque complètement par la zone active du détecteur.

Détecteur compensé au lithium — (Lithium-drifted detector)

Détecteur réalisé suivant la technique de compensation au lithium.

Détecteur différentiel dE/dX — (Differential dE/dX detector)

Détecteur à transmission dont l'épaisseur est faible comparée au parcours de la particule incidente et dont les zones mortes d'entrée et de sortie sont minces, comparées à l'épaisseur du détecteur.

Détecteur p.i.n — (p-i-n detector)

Détecteur comportant une région intrinsèque, ou de très haute résistivité, entre une région p et une région n.

Détecteur semiconducteur — (Semiconductor radiation detector)

Dispositif à semiconducteur utilisant la production et le déplacement de porteurs de charge libres en excès dans le semiconducteur pour la détection et la mesure de l'énergie de particules ou photons du rayonnement incident.

Détecteur totalement déserté — (Totally depleted detector)

Détecteur dont l'épaisseur de la zone déplétée est pratiquement égale à l'épaisseur du matériau semiconducteur.

Différencié(e) (impulsion) — (Differentiated [pulse])

Une impulsion est différenciée lorsqu'elle passe à travers un circuit passe-haut comme par exemple un filtre CR.

Discriminateur à fraction constante — (Constant-fraction discriminator)

Discriminateur qui donne un signal en sortie lorsque l'amplitude du signal d'entrée, retardé, correspond à une fraction déterminée du signal non retardé. L'instant de correspondance est invariant avec l'amplitude du signal d'entrée, et, si le retard est inférieur au temps de collection le plus rapide, la fluctuation en temps de l'instant de correspondance sera inférieure à celle existant sur les temps de montée. La fluctuation est minimisée par un choix approprié de la fraction et du retard (voir figure 9.1.2).

Durée d'impulsion à mi-hauteur, $T_{0,5}$ (d'une impulsion de sortie d'amplificateur) — (Pulse width at half max. $T_{0,5}$)

L'intervalle de temps entre les points à 50% de l'amplitude maximale d'une impulsion.

Crest factor (of an r.m.s. voltmeter) — (Facteur de crête)

The ratio of the peak voltage value to the full-scale value of the range being used for measurement that an average reading or root-mean-square voltmeter will accept without overloading.

Crossover time — (Instant de passage)

The instant at which the waveform of a bipolar pulse passes through a designated level (usually zero).

Crossover walk (of a pulse) — (Imprécision sur l'instant de passage)

The deviation of the crossover time as a function of some variable, such as pulse amplitude.

CR-RC shaping — (Mise en forme CR-RC)

The pulse shaping present in an amplifier that has a simple high-pass filter consisting of a capacitor and a resistor together with a simple low-pass filter, separated by impedance isolation. (Pulse shaping in such an amplifier cuts off at 6 dB per octave at both ends of the band.)

Dead layer (of a semiconductor radiation detector) — (Zone morte)

A layer of a semiconductor detector in which no significant part of the energy lost by particles can contribute to the resulting signal.

Note. — The semiconductor detector may have an entrance and an exit dead layer.

Decay time constant — (Constante de temps de décroissance)

The time for a true single-exponential waveform to decay to a value of $1/e$ of the original step height.

Depletion region (in a semiconductor) — (Région de déplétion)

A region in which the mobile charge-carrier charge density is insufficient to neutralize the net fixed charge density of donors and acceptors.

In a diode-type semiconductor radiation detector the depletion region is the sensitive region of the device.

Depletion voltage (of a semiconductor radiation detector) — (Tension de déplétion)

The voltage at which a junction detector becomes fully depleted.

Differential dE/dX detector — (DéTECTEUR différentiel dE/dX)

A transmission detector whose thickness is small compared to the range of the incident particle and whose entrance and exit dead layers are small compared to the thickness of the detector.

Differentiated (pulse) (pulse amplifier jargon) — (Différencié(e) [impulsion])

A pulse is "differentiated" when it is passed through a high-pass network, such as a CR filter.

Encapsulation (d'un détecteur semiconducteur) — (Encapsulation)

Enveloppement d'un détecteur à des fins de protection et/ou de montage.

Facteur de crête (d'un voltmètre quadratique) — (Crest factor)

Le rapport de la tension crête à la valeur pleine échelle de la gamme utilisée, qu'un voltmètre de valeur moyenne ou quadratique peut accepter sans surcharge.

Filtrage invariant dans le temps — (Time-invariant filtering)

Mise en forme des impulsions dans laquelle la réponse du filtre n'est pas changée au cours du temps. Une mise en forme CR-(RC)ⁿ est un exemple de filtrage invariant dans le temps.

Filtrage variant dans le temps — (Time-variant filtering)

Mise en forme des impulsions dans laquelle la réponse du filtre n'est pas constante au cours du temps. Cela est réalisé souvent par un intégrateur à porte suivant un filtre invariant dans le temps. L'intégrateur est activé par la porte pendant la durée de chaque impulsion.

Fluctuation de perte d'énergie — (Straggling, energy)

Les variations dans la perte d'énergie par lesquelles des particules ayant la même énergie initiale perdent des quantités différentes d'énergie en traversant une épaisseur donnée de matière. (Ce processus conduit à un élargissement des raies spectrales.)

Génération de charge d'espace (dans un détecteur semiconducteur) — (Space-charge generation)

La génération de porteurs de charge libres dans la région de charge d'espace.

Germanium de haute pureté (GeHP) — (High-purity germanium)

Germanium dont la concentration nette des impuretés électriquement actives, stables à la température ambiante, est telle qu'il se prête à la réalisation de détecteurs de rayonnement de dimensions courantes qui sont entièrement déplétés pour des tensions de polarisation acceptables. (La concentration des impuretés électriquement actives est typiquement inférieure à $3 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.)

Impédance de charge (d'un détecteur semiconducteur) — (Load impedance)

Impédance en parallèle sur le détecteur et aux bornes de laquelle le signal de tension de sortie se développe.

Implantation ionique — (Ion implantation)

Processus dans lequel un faisceau d'ions énergétiques incident sur un solide provoque la fixation de ces ions dans les matériaux.

Imprécision sur l'instant de passage (à zéro) — (Crossover walk [of a pulse])

Les fluctuations de l'instant de passage en fonction de certaines variables comme, par exemple, l'amplitude de l'impulsion.

Diffused-junction detector — (Détecteur à jonction diffusée)

A semiconductor detector in which the p-n or n-p junction is produced by diffusion of acceptor or donor impurities.

Diffusion depth (of a semiconductor radiation detector) — (Profondeur de diffusion)

(See junction depth.)

Encapsulation (of a semiconductor radiation detector) — (Encapsulation)

The packaging of a detector for protective and/or mounting purposes.

Energy resolution (FWHM) of a semiconductor radiation detector — (Résolution en énergie [LTMH] d'un détecteur semiconducteur)

The detector's contribution (including detector leakage current noise), expressed in units of energy, to the FWHM of a pulse-height distribution corresponding to an energy spectrum.

Energy resolution (FWHM) of a semiconductor radiation detector/preamplifier combination — (Résolution en énergie [LTMH] d'un ensemble détecteur semiconducteur-préamplificateur)

The FWHM, measured at a specific energy and expressed in energy units, of a spectral peak within a pulse-height distribution corresponding to an energy spectrum.

Equivalent noise referred to input (of a linear amplifier) — (Bruit équivalent à l'entrée)

The value of noise at the input that would produce the same value of noise at the output as does the actual noise source.

Equivalent noise resistance referred to input (of a linear amplifier) — (Résistance équivalente de bruit ramené à l'entrée d'un amplificateur linéaire)

That value of resistor which when applied to the input of a hypothetical noiseless amplifier with the same gain and bandwidth would produce the same output noise.

Full width at half maximum — (Largeur totale à mi-hauteur)

The full width of a distribution measured at half the maximum ordinate. For a normal distribution, it is equal to $2(2 \ln 2)^{1/2}$ times the standard deviation σ .

FWHM (See full width at half maximum) — (LTMH)*FW 0,1 M* — (LT 0,1 M)

Same as FWHM except that measurement is made at one-tenth the maximum ordinate rather than at one-half.

FW 0,02 M — (LT 0,02 M)

Same as FWHM except that the width measurement is made at one-fiftieth the maximum ordinate rather than at one-half.

Gated integrator — (Intégrateur à porte)

A circuit for obtaining a pulse with an amplitude proportional to the integral of a signal pulse over a definite time interval.

Instant de crête (t_p) (d'une impulsion de sortie d'amplificateur) — (Peaking time [t_p] [of an amplifier output pulse])

La durée entre le point d'amplitude 1% sur le front de montée et le point d'amplitude 100% (à condition que l'impulsion ne possède pas un sommet plat). Pour les impulsions à sommet plat, l'instant de crête est défini entre le point d'amplitude 1% et le point milieu du sommet plat.

Instant de passage (généralement à zéro) — (Crossover time)

L'instant auquel le front de descente d'une impulsion bipolaire traverse un niveau de référence (généralement zéro).

Intégrateur à porte — (Gated integrator)

Circuit délivrant une impulsion dont l'amplitude est proportionnelle à l'intégrale d'une impulsion signal sur un intervalle de temps défini.

Intégré(e) (impulsion) (jargon) — (Integrated pulse [pulse amplifier jargon])

Une impulsion est «intégrée» lorsqu'elle passe à travers un circuit passe-bas comme, par exemple, un circuit RC simple ou une cascade de circuits RC.

Jonction (d'un détecteur semiconducteur) — (Junction)

Région de transition entre des zones semiconductrices de propriétés électriques différentes (par exemple n-n⁺, p-n, p-p⁺), ou entre un métal et un semiconducteur.

Largeur de bande interdite (d'un semiconducteur) — (Band gap)

La différence d'énergie entre les niveaux d'énergie du bas de la bande de conduction et du haut de la bande de valence.

Largeur totale à mi-hauteur — (Full width at half maximum)

La largeur totale mesurée à la moitié de l'ordonnée du maximum d'une distribution. Pour une distribution normale, elle est égale à $2(2 \ln 2)^{1/2}$ fois l'écart-type σ .

LTMH (voir largeur totale à mi-hauteur) — (FWHM)

LT 0,1 M — (FW 0,1 M)

Comme LTMH, excepté que la mesure est faite à un dixième de l'ordonnée du maximum au lieu de la moitié.

LT 0,02 M — (FW 0,02 M)

Comme LTMH, excepté que la mesure est faite au cinquantième de l'ordonnée du maximum au lieu de la moitié.

Ligne de base (au sommet de l'impulsion) — (Baseline)

La valeur instantanée que la tension aurait eu à l'instant du sommet de l'impulsion, en l'absence de cette impulsion.

Mise en forme CR-RC — (CR-RC shaping)

Mise en forme d'une impulsion effectuée par un amplificateur possédant un filtre passe-haut simple constitué d'une capacité et d'une résistance ainsi qu'un filtre passe-bas

High-purity germanium (HPGe) — (Germanium de haute pureté [GeHP])

Germanium whose net concentration of electrically active impurities which are stable at room temperature is such that conventional-sized radiation detectors made from it achieve full depletion at reasonable bias voltages. (The net concentration of electrically active impurities is typically less than $3 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.)

Ion-implanted contact — (Contact implanté)

A detector contact consisting of a junction produced by ion implantation.

Ion implantation — (Implantation ionique)

A process in which a beam of energetic ions incident upon a solid results in the imbedding of those ions into the material.

Inactive region (of a semiconductor radiation detector) — (Région inactive)

A region of a detector in which charge created by ionizing radiation does not contribute significantly to the signal charge.

Integrated (pulse) (pulse amplifier jargon) — (Intégré[e] [impulsion] [jargon])

A pulse is “integrated” when it is passed through a low-pass network, such as a single RC network or a cascaded RC network.

Integrating preamplifier — (Préamplificateur intégrateur)

A pulse preamplifier in which individual pulses are intentionally integrated by passive or active circuits.

Intrinsic semiconductor — (Semiconducteur intrinsèque)

A semiconductor containing an equal number of free holes and electrons throughout its volume. (The term “intrinsic germanium” is often used incorrectly for high-purity germanium.)

Junction (of a semiconductor radiation detector) — (Jonction)

A region of transition between semiconductor regions of different electrical properties (e.g. $n-n^+$, $p-n$, $p-p^+$ semiconductors), or between a metal and a semiconductor.

Junction depth (of a $p-n$ semiconductor radiation detector) — (Profondeur de jonction)

The distance below the crystal surface at which the conductivity type changes.

Leakage current (of a semiconductor radiation detector) — (Courant de fuite)

The total detector current flowing at the operating bias in the absence of radiation.

Lithium-drifted detector — (Décteur compensé au lithium)

A detector made by the lithium compensation process.

Lithium drifting — (Compensation au lithium)

A technique for compensating p-type material by causing lithium ions to move through a crystal under an applied electric field in such a way as to compensate the charge of the bound acceptor impurities.

simple, séparés par une impédance d'isolement. (La mise en forme dans un tel amplificateur coupe à 6 dB par octave aux deux extrémités de la bande.)

Mise en forme quasi gaussienne — (Quasi-Gaussian shaping)

Mise en forme consistant en une différenciation suivie de quatre (ou plus) intégrations et produisant une forme d'impulsion approximativement gaussienne. Pour n intégrations le circuit de mise en forme est parfois noté CR-(RC)ⁿ.

Pic spectral — (Spectral line)

Partie d'un spectre en forme de pointe qui est relative à une caractéristique spécifique du rayonnement incident, généralement l'énergie totale d'un rayonnement monoénergétique.

Porteur de charge (dans un semiconducteur) — (Charge carrier)

Un électron ou un trou de conduction mobiles.

Préamplificateur à contre-réaction opto-électronique pulsée — (Pulse optical feedback preamplifier)

Préamplificateur sensible à la charge dans lequel la charge qui s'accumule sur la capacité de contre-réaction est périodiquement remise à zéro par une impulsion de lumière sur un élément photosensible approprié (généralement la porte du transistor à effet de champ d'entrée).

Préamplificateur à contre-réaction résistive — (Resistive feedback preamplifier)

Préamplificateur sensible à la charge dans lequel la charge qui s'accumule sur le condensateur de contre-réaction s'écoule de manière continue à travers une résistance en parallèle avec le condensateur.

Préamplificateur à remise à zéro par transistor — (Transistor reset preamplifier)

Préamplificateur sensible à la charge dans lequel la charge qui s'accumule sur la capacité de contre-réaction est écoulee périodiquement par un transistor placé à un endroit convenable.

Préamplificateur à TEC d'entrée refroidi — (Cooled-input FET preamplifier)

Préamplificateur dans lequel le TEC (transistor à effet de champ) d'entrée est refroidi afin de réduire le bruit.

Préamplificateur de tension — (Charge-sensitive preamplifier)

Amplificateur précédant l'amplificateur principal, dans lequel l'amplitude du signal de sortie est proportionnel au signal de tension apparaissant aux bornes de la capacité qui existe à l'entrée du préamplificateur. Voir préamplificateur sensible à la charge.

Préamplificateur intégrateur — (Integrating preamplifier)

Préamplificateur dans lequel les impulsions individuelles sont intentionnellement intégrées par des circuits passifs ou actifs.

Load impedance (of a semiconductor radiation detector) — (Impédance de charge)

The impedance shunting the detector, and across which the detector output voltage signal is developed.

Load resistance (of a semiconductor radiation detector) — (Résistance de charge)

The resistive component of the load impedance.

Marinelli beaker — (Récipient de Marinelli)

See reentrant beaker.

Noise linewidth — (Résolution électrique)

The contribution of noise to the width of a spectral peak.

Noninjecting contact (of a semiconductor radiation detector) — (Contact non injectant)

A purely resistive contact, i.e. one that has a linear voltage-current characteristic throughout its entire operating range.

Peaking time (t_p) (of an amplifier output pulse) — (Instant de crête [t_p] [d'une impulsion de sortie d'amplificateur])

The time between the 1% amplitude point on the leading edge and the 100% amplitude point of a pulse (provided that the pulse does not have a flat top). For flap-topped pulses the peaking time is defined as the time between the 1% amplitude point and the mid-point of the flat top.

p-i-n detector — (Déecteur p.i.n)

A detector consisting of an intrinsic or nearly intrinsic region between a p and n region.

Pulse decay time (t_d) — (Temps de descente d'une impulsion [t_d])

The interval between the instants at which the instantaneous value last reaches specified upper and lower limits, namely, 90% and 10% of the peak value unless otherwise stated.

(In the case of a step function applied to an amplifier that has simple CR-RC shaping, the decay time is given by $t_d = 3,36 CR$.)

Pulse optical feedback preamplifier — (Préamplificateur à contre-réaction opto-électronique pulsée)

A charge-sensitive preamplifier in which the charge which accumulates on the feedback capacitor is periodically reset by a pulse of light incident on a suitable photosensitive element (e.g. the n-p junction of the gate of the input FET).

Pulse rise time (t_r) — (Temps de montée d'une impulsion [t_r])

The interval between the instants at which the instantaneous value first reaches specified lower and upper limits, namely, 10% and 90% of the peak pulse value unless otherwise specified.

(In the case of a step function applied to an RC low-pass filter, the rise time is given by $t_r = 2,2 RC$. In the case of a step function applied to an amplifier that has simple

Préamplificateur sensible à la charge — (Voltage-sensitive preamplifier)

Amplificateur précédant l'amplificateur principal, dans lequel l'amplitude du signal en sortie est proportionnel à la charge injectée à l'entrée. Voir préamplificateur de tension.

Profondeur de diffusion (d'un détecteur semiconducteur) — (Diffusion depth)

(Voir profondeur de jonction).

Profondeur de jonction (d'un détecteur semiconducteur p-n) — (Junction depth)

La distance au-dessous de la surface du cristal où la conductivité change de type.

Récipient de Marinelli — (Marinelli beaker)

Voir récipient enveloppant.

Récipient enveloppant — (Reentrant beaker)

Récipient en forme de puits pour échantillons radioactifs dont la forme s'adapte au capot du détecteur de manière que celui-ci soit le plus possible entouré par l'échantillon.

Région de déplétion (dans un semiconducteur) — (Depletion region)

Région dans laquelle la densité des porteurs de charge mobiles est insuffisante pour neutraliser la charge fixe de donneurs et d'accepteurs.

Dans un détecteur semiconducteur de type diode, la région de déplétion est la région active du composant.

Région inactive (d'un détecteur semiconducteur) — (Inactive region)

Région d'un détecteur dans laquelle la charge créée par un rayonnement ionisant ne contribue pas de manière significative au signal.

Résistance de charge (d'un détecteur semiconducteur) — (Load resistance)

La composante résistive de l'impédance de charge.

Résistance équivalente de bruit ramené à l'entrée (d'un amplificateur linéaire) — (Equivalent noise resistance referred to input)

La valeur de résistance qui, reliée à l'entrée d'un hypothétique amplificateur sans bruit, donnerait le même bruit en sortie, avec le même gain et la même bande passante.

Résistance de polarisation (d'un détecteur semiconducteur) — (Bias resistor)

La résistance à travers laquelle la tension de polarisation est appliquée à un détecteur.

Résolution électrique — (Noise linewidth)

La contribution du bruit à l'élargissement d'un pic spectral.

Résolution en énergie (LTMH) d'un détecteur semiconducteur — (Energy resolution [FWHM] of a semiconductor radiation detector)

La contribution du détecteur (incluant le bruit dû au courant de fuite du détecteur), exprimée en unités d'énergie, à la LTMH d'une distribution d'amplitudes correspondant à un spectre d'énergie.

CR-RC shaping, i.e., one high-pass and one low-pass RC filter of equal time constants, the rise time is given by $t_r = 0,57 RC$.)

Pulse width at half max. $T_{0,5}$ (of an amplifier output pulse) — (Durée d'impulsion à mi-hauteur, $T_{0,5}$)

The time interval between the 50% of maximum amplitude points of a pulse.

Punch-through voltage (of a semiconductor radiation detector) — (Tension de désertion totale)

(See depletion voltage).

Quasi-Gaussian shaping — (Mise en forme quasi gaussienne)

Pulse shaping consisting of one differentiation followed by four or more integrations which result in a pulse shape that is approximated by a Gaussian curve. For n integrations the shaping network is sometimes denoted as CR-(RC) ^{n} .

RBSS — (SNRE)

Acronym for reentrant beaker standard source.

Reentrant beaker — (Récipient enveloppant)

A reentrant (inverted well) beaker which will hold a radioactive sample and fit over a detector endcap such that the detector is essentially surrounded by the sample. (Also referred to as a Marinelli beaker.)

Resistive feedback preamplifier — (Préamplificateur à contre-réaction résistive)

A charge-sensitive preamplifier in which charge which accumulates on the feedback capacitor is continually discharged through a resistor in parallel with the capacitor.

Reverse-electrode coaxial detector — (Détecteur coaxial inversé)

A coaxial detector in which the outer contact is a p-type layer.

Schottky barrier contact — (Contact à barrière de Schottky)

A metal semiconductor contact structure whose rectification properties are heavily influenced by the difference in both material work functions. These contacts may utilize an interfacial metal/semiconductor compound.

Schottky barrier radiation detector — (Détecteur à barrière de Schottky)

A semiconductor radiation detector whose blocking contact is a Schottky barrier contact.

Semiconductor, compensated — (Semiconducteur compensé)

A semiconductor in which one type of impurity or imperfection (e.g. donor) partially cancels the electric effects of the other type of impurity or imperfection (e.g. acceptor).

Semiconductor radiation detector — (Détecteur semiconducteur)

A semiconductor device that utilizes the production and motion of excess free charge carriers in the semiconductor for the detection and measurement of particles or photons of incident radiation.

Résolution en énergie (LTMH) d'un ensemble détecteur semiconducteur — préamplificateur — (Energy resolution [FWHM] of a semiconductor radiation detector/preamplifier combination)

La LTMH, mesurée à une énergie spécifiée et exprimée en unités d'énergie, d'un pic spectral d'une distribution d'amplitudes correspondant à un spectre d'énergie.

Semiconducteur compensé — (Semiconductor, compensated)

Semiconducteur dans lequel un type d'impuretés ou d'imperfections (par exemple donneurs) annule partiellement les effets électriques de l'autre type d'impuretés ou d'imperfections (par exemple accepteurs).

Semiconducteur intrinsèque — (Intrinsic semiconductor)

Semiconducteur contenant un nombre égal de trous libres et électrons libres dans l'ensemble de son volume (le terme «germanium intrinsèque» est souvent utilisé incorrectement au lieu de germanium de haute pureté).

SNRE — (RBSS)

Abréviation de source normalisée en récipient enveloppant.

Spectre (de rayonnement) — (Spectrum)

Distribution de l'intensité de rayonnement en fonction de l'énergie ou de ses équivalents électriques analogiques (charge ou tension, par exemple) à la sortie d'un détecteur semiconducteur.

Temps de collection des charges (d'un détecteur semiconducteur) — (Charge collection time)

L'intervalle de temps, après le passage d'une particule ionisante, mis par le courant s'écoulant entre les bornes pour croître de 10% à 90% de sa valeur finale.

Temps de descente d'une impulsion (t_d) — (Pulse decay time)

L'intervalle de temps entre les instants auxquels la valeur instantanée de l'amplitude atteint en dernier les limites supérieure et inférieure spécifiées, soit 90% et 10% de la valeur crête, sauf spécification contraire.

(Dans le cas d'un échelon unité appliqué à un amplificateur possédant une mise en forme simple RC-CR, le temps de descente est donné par $t_d = 3,36 RC$.)

Temps de montée d'une impulsion (t_r) — (Pulse rise time)

L'intervalle de temps entre les instants auxquels la valeur instantanée de l'amplitude atteint en premier les limites inférieure et supérieure spécifiées, soit 10% à 90% de la valeur crête, sauf spécification contraire.

(Dans le cas d'un échelon unité appliqué à un filtre passe-bas RC, le temps de montée est donné par $t_r = 2,2 RC$. Dans le cas d'un échelon unité appliqué à un amplificateur ayant une mise en forme CR-RC simple, c'est-à-dire un filtre passe-haut et un filtre passe-bas de constantes de temps égales, le temps de montée est donné par $t_r = 0,57 RC$.)

Tension de claquage (d'une diode semiconductrice) — (Breakdown voltage)

La tension mesurée pour une valeur spécifiée du courant dans la zone de claquage.

Space-charge generation (in a semiconductor radiation detector) — (Génération de charge d'espace)

The thermal generation of free charge carriers in the space-charge region.

Spectral line — (Pic spectral)

A sharply peaked portion of the spectrum that represents a specific feature of the incident radiation, usually the full energy of a monoenergetic radiation.

Spectrum (radiation) — (Spectre)

A distribution of the intensity of radiation as a function of energy or its equivalent electric analog (such as charge or voltage) at the output of a radiation detector.

Straggling, energy — (Fluctuation de perte d'énergie)

The random fluctuations in energy loss whereby those particles having the same initial energy lose different amounts of energy when traversing a given thickness of matter. (This process leads to the broadening of spectral lines.)

Surface barrier contact — (Contact à barrière de surface)

A metal-insulator-semiconductor (MIS) contact structure whose rectification properties are dominated or heavily influenced by charge trapped at the interfaces and in the insulator.

Surface barrier radiation detector — (Détecteur à barrière de surface)

A radiation detector for which the principal rectifying junction is a surface barrier contact.

Time-invariant filtering — (Filtrage invariant dans le temps)

Pulse shaping in which the filter response does not change with respect to time. (CR - $[RC]^n$ shaping is an example of time-invariant filtering.)

Time-variant filtering — (Filtrage variant dans le temps)

Pulse shaping in which the filter response is not constant with respect to time. This is often achieved by a gated integrator following a time-invariant filter. The integrator is gated on for the duration of each pulse.

Totally depleted detector — (Détecteur totalement déserté)

A detector in which the thickness of the depletion region is essentially equal to the thickness of the semiconductor material.

Transistor reset preamplifier — (Préamplificateur à remise à zéro par transistor)

A charge-sensitive preamplifier in which the charge which accumulates on the feedback capacitor is periodically discharged through a suitably located transistor.

Voltage-sensitive preamplifier — (Préamplificateur sensible à la charge)

An amplifier preceding the main amplifier, in which the output-signal amplitude is proportional to the signal voltage appearing across the capacitance that exists at the input of the preamplifier. See charge-sensitive preamplifier.

Tension de déplétion (d'un détecteur semiconducteur) — (Depletion voltage)

La tension pour laquelle un détecteur à jonction devient totalement déplété.

Tension de désertion totale (d'un détecteur semiconducteur) — (Punch-through voltage)

Voir tension de déplétion.

Tension de polarisation (d'un détecteur semiconducteur) — (Bias)

La tension appliquée au détecteur pour créer le champ électrique destiné à collecter la charge constituant le signal.

Zone de claquage (de la caractéristique d'une diode semiconductrice) — (Breakdown region)

Toute la région située au-delà du début du claquage pour des valeurs croissantes du courant inverse.

Zone morte (d'un détecteur semiconducteur) — (Dead layer)

Couche d'un détecteur semiconducteur dans laquelle aucune partie significative de l'énergie perdue par des particules ne contribue au signal correspondant.

Note. — Le détecteur semiconducteur peut posséder une zone morte d'entrée et une zone morte de sortie.

4. Introduction

4.1 Interaction du rayonnement gamma avec la matière

Les gammas interagissent avec la matière suivant trois processus principaux: les effets photoélectrique, Compton et de production de paire. Pour un faisceau étroit de photons incidents, l'atténuation peut être décrite par une loi exponentielle simple de la forme

$$N_y = N_0 \exp(-\mu y)$$

où N_0 représente le nombre de photons incidents et N_y le nombre de photons résiduels après la traversée de l'épaisseur y d'absorbant. Le coefficient d'atténuation linéaire totale μ est la somme de trois termes correspondant aux trois processus mentionnés précédemment.

L'effet photoélectrique se produit lorsqu'un photon incident transfère son énergie totale à un électron lié dans un atome, provoquant l'éjection de l'électron. Celui-ci a une énergie cinétique égale à l'énergie du photon moins l'énergie de liaison de l'électron. La section efficace de l'effet photoélectrique croît rapidement avec le numéro atomique de l'absorbant ($\sim Z^4$ par atome) et décroît rapidement lorsque l'énergie croît ($\sim E^{-3}$).

L'effet Compton peut être considéré comme une collision élastique d'un photon avec un électron atomique. L'électron est éjecté de l'atome et le photon est diffusé avec une énergie réduite. Le photon diffusé peut, à la suite, interagir suivant un processus additionnel. La section efficace pour l'effet Compton décroît lorsque l'énergie croît, mais beaucoup moins rapidement que dans le cas de l'effet photoélectrique.

La production de paire se produit lorsque l'énergie d'un photon est matérialisée en un électron et un positron au voisinage d'un noyau ou d'un électron. Pour que la production de paire puisse avoir lieu, le photon doit avoir une énergie minimale de 1,02 MeV, la somme des énergies de masse de l'électron et du positron. Au-dessus de

Well-type coaxial detector — (Détecteur coaxial puits)

A coaxial detector which is mounted and encapsulated in such a way that radioactive samples may be inserted within the inner cylindrical electrode such that the sample is essentially surrounded by active detector material.

4. Introduction

4.1 *The interaction of gamma-rays with matter*

Gamma-rays interact with matter through three principal processes: the photoelectric effect, the Compton effect and pair production. For narrow beam geometry, the attenuation of an incident photon beam can be described by a simple exponential law of the form:

$$N_y = N_0 \exp(-\mu y)$$

where N_0 represents the number of incident photons, and N_y is the number remaining after traversing absorber thickness y . The total linear attenuation coefficient μ is the sum of three terms representing the three previously mentioned processes.

The photoelectric effect takes place when an incident photon transfers its entire energy to a bound electron in an atom, resulting in the ejection of the electron. The ejected electron has kinetic energy equal to the photon energy less the electron binding energy. The cross section for the photoelectric effect increases rapidly with the atomic number of the absorber ($\sim Z^4$ per atom) and decreases rapidly with increasing energy ($\sim E^{-3}$).

The Compton effect may be considered as an elastic collision of a photon with an atomic electron. The electron is ejected from the atom, and the photon is scattered with reduced energy. The scattered photon may then interact through an additional process. The cross section for the Compton effect decreases with increasing energy, but much less rapidly than for the photoelectric effect.

Pair production takes place when the energy of a photon is converted into an electron and a positron in the presence of a nearby nucleus or electron. For pair production to take place, the photon shall have a minimum energy of 1,02 MeV, the sum of the rest mass energies of the electron and the positron. Above this energy, the cross section for

cette énergie, la section efficace de production de paires croît avec l'énergie des photons. En raison d'effets d'écran, son taux d'accroissement est graduellement réduit lorsque l'énergie des photons croît.

Les coefficients d'atténuation linéaire pour le silicium et le germanium sont indiqués dans la figure 4.1.1. Dans tous ces processus d'absorption l'énergie du photon incident est transférée à un ou plusieurs électrons énergétiques. Ces électrons perdent rapidement leur énergie dans le matériau absorbant, principalement par interactions coulombiennes, qui provoquent l'arrachement d'électrons des atomes le long du parcours de l'électron de haute énergie. Une partie de l'énergie provenant de ces processus conduit également à la production de phonons.

Ainsi, le principal résultat de l'interaction de rayonnement gamma avec la matière est l'ionisation. Dans un semiconducteur celle-ci conduit à la création d'un grand nombre de paires électron-trou, leur nombre étant directement proportionnel à l'énergie du photon incident absorbée. L'énergie moyenne nécessaire pour créer une paire électron-trou est 3,0 eV dans le germanium à 77 K et 3,6 eV dans le silicium à la température ambiante.

4.2 *Le détecteur gamma en germanium*

Le détecteur germanium est un monocristal de germanium dans lequel on a réalisé une diode capable de tenir une tension inverse élevée à une température cryogénique. Lorsque la tension de polarisation est appliquée, le volume du détecteur devient déplété de porteurs de charge libres. Dans ces conditions, les électrons et les trous générés lors de l'absorption de photons gamma sont entraînés vers les contacts de signe opposé par le champ électrique régnant dans la région de déplétion. La charge induite qui en résulte est intégrée pour produire une impulsion de sortie dont l'amplitude est proportionnelle à l'énergie du photon absorbé.

Les détecteurs germanium sont généralement montés dans un cryostat pour assurer le refroidissement et le maintien à une température cryogénique afin de réduire le courant de fuite et le bruit thermique. Le cryostat assure également la protection du détecteur et un environnement approprié pour ce dernier. Un préamplificateur et un filtre haute tension sont généralement associés au cryostat et au détecteur pour former un ensemble intégré. De ce fait, il est généralement très difficile de mesurer les caractéristiques de l'élément détecteur seul. La plupart des mesures ont trait à l'ensemble intégré.

4.3 *Types de détecteurs germanium*

Les types de détecteurs germanium sont différenciés par le matériau, la géométrie et le mode d'utilisation. Les matériaux utilisés sont typiquement le germanium type p de haute pureté et le germanium type n de haute pureté. Antérieurement, le germanium compensé au lithium a été largement utilisé.

Les géométries courantes sont les formes planes et coaxiales. Des variantes de ces géométries sont souvent utilisées. Ces termes s'appliquent à la géométrie des contacts électriques. Les détecteurs plans (figure 4.3.1) sont en général des disques munis de contacts sur les faces planes parallèles. Les détecteurs coaxiaux (figure 4.3.2) ont des contacts en forme de cylindres coaxiaux qui peuvent être fermés à une extrémité.

La géométrie coaxiale permet de réaliser des détecteurs de grand volume et de relativement haute efficacité pour détecter les gammas de haute énergie pour lesquels la section efficace d'absorption est faible; la géométrie plane est utile pour réaliser des détecteurs de petit diamètre et de faible capacité, qui permettent un faible bruit du préamplificateur, ce qui constitue un facteur essentiel pour l'obtention d'une résolution élevée, notamment pour les photons de faible énergie.

pair production increases with increasing photon energy. Because of screening effects, its rate of increase is gradually reduced as photon energy increases.

The linear attenuation coefficients for silicon and germanium are shown in Figure 4.1.1. In all of these absorption processes the energy of incident photons is transferred to one or more electrons. These electrons rapidly lose their energy in the absorber material largely through Coulomb interactions resulting in the removal of electrons from atoms along the energetic electron's path. Part of energy from these processes also results in phonon production.

Thus, the principal result of the interaction of gamma rays with matter is ionization. In a semiconductor material this is manifested as the creation of a large number of electron-hole pairs, the quantity being directly proportional to the absorbed energy of the incident photon. The average energy necessary to create an electron-hole pair is 3,0 eV in germanium at 77 K and 3,6 eV in silicon at room temperature.

4.2 *The germanium gamma-ray detector*

The germanium detector element is a single crystal of germanium that has been made into a diode capable of withstanding high reverse bias voltage at cryogenic temperature. With bias voltage applied, the bulk of the detector becomes depleted of free charge carriers. Under these conditions, electrons and holes generated by the absorption of gamma rays are swept to opposite contacts by the electric fields in the depletion region. The resulting induced charge is integrated to produce an output pulse whose magnitude is proportional to the absorbed photon energy.

Germanium detectors are usually mounted within a cryostat to permit cooling the detector and maintaining it at cryogenic temperature for the purpose of reducing leakage current and thermal noise. The cryostat also provides protection and an appropriate environment for the detector. A preamplifier and high voltage filter are usually combined in an integrated unit with the cryostat and detector. Thus it is usually not practical to measure performance of the detector element as an isolated unit. Most stated measurements apply to the integrated unit.

4.3 *Germanium detector types*

Germanium detector types are differentiated by material, geometry, and mode of use. Materials used are typically high-purity p-type germanium, and high-purity n-type germanium. Previously lithium-compensated germanium was widely used.

Commonly used geometries are planar and coaxial. Hybrids of these geometries are often used. These terms apply to the configuration of electrical contacts. Planar detectors (Figure 4.3.1) are usually disc shaped with contacts which are parallel planes. Coaxial detectors (Figure 4.3.2) have contacts which are in the form of coaxial cylinders which may be closed on one end.

The coaxial geometry makes possible detectors with large volumes that have relatively high efficiency for detecting higher-energy gamma-rays for which absorption cross sections are small; planar geometry is useful for constructing small-diameter, low capacitance devices which make possible low preamplifier noise, an essential factor for obtaining high resolution especially at low photon energies.

Les détecteurs plans peuvent également avoir des surfaces frontales élevées au détriment d'une plus forte capacité. Cela peut être une structure efficace pour la détection des photons de faible énergie. Un contact mince sur la face d'entrée facilite l'utilisation de ce type de détecteur pour les rayons X de faible énergie.

Des géométries hybrides sont fréquemment utilisées et peuvent se révéler très utiles pour des applications particulières.

Le détecteur coaxial conventionnel (type p) est réalisé dans du germanium de haute pureté de type p (figure 4.3.2a) avec un contact externe n^+ (souvent une diffusion de lithium). Le contact interne peut être une métallisation ou une implantation ionique de type p. Une tension de polarisation positive est appliquée au contact externe pour dépléter la diode.

Le détecteur coaxial inversé (type n) est réalisé avec un contact externe p^+ . Ce contact peut être fait par métallisation ou implantation ionique (figure 4.3.2b). Le contact interne est typiquement une diffusion lithium, mais peut être constitué par tout contact non injectant. Une tension de polarisation négative est appliquée au contact externe pour dépléter la diode. Un contact externe fin permet l'utilisation de ce détecteur en spectrométrie X aussi bien que pour la spectrométrie gamma à haute énergie. Le contact externe fin le rend particulièrement adapté à l'utilisation d'un blindage anti-Compton. Les détecteurs coaxiaux inversés sont plus résistants que les détecteurs coaxiaux conventionnels aux dommages produits par les neutrons.

Le détecteur germanium coaxial compensé au lithium Ge(Li), est réalisé à partir de germanium de type p au travers duquel des ions lithium ont été entraînés par un champ électrique pour assurer une compensation des accepteurs (figure 4.3.2c). Le matériau résultant se comporte approximativement comme du germanium intrinsèque si la compensation est parfaite.

Du fait que cette compensation est instable à la température ordinaire, les détecteurs Ge(Li) doivent être maintenus en permanence à la température de l'azote liquide.

Le contact externe est une diffusion lithium de type n. Le contact interne est habituellement le cœur p non compensé. Les détecteurs coaxiaux peuvent avoir leurs électrodes dans une configuration cylindrique ouverte ou fermée.

Les détecteurs coaxiaux puits sont montés et encapsulés de telle manière que des échantillons radioactifs peuvent être introduits à l'intérieur de l'électrode interne; l'échantillon est entouré presque entièrement par le volume actif du détecteur (figure 4.3.2d).

Généralement un détecteur de structure conventionnelle est utilisé. Le trou dans l'électrode interne fait face à la fenêtre du cryostat. Le capot comporte un puits qui pénètre dans l'électrode interne.

5. Conditions générales

Les conditions suivantes s'appliquent à tous les essais et mesures décrits dans cette norme:

- a) La tension de polarisation maximale, la température et l'environnement du détecteur, ainsi que les autres limites de fonctionnement spécifiées par le constructeur du détecteur ne devront pas être dépassés car des modifications irréversibles des caractéristiques du détecteur pourraient en résulter.

Planar detectors can also have large front surface areas at the expense of higher capacitance. This can be an efficient structure for detecting low-energy photons. A thin outer contact facilitates the use of this type of detector for low energy X-rays.

Hybrid detector geometries are frequently employed and can be suited to the particular application.

The conventional electrode (p-type) coaxial detector is made with p-type high-purity germanium (Figure 4.3.2a) with an n^+ outer contact (frequently lithium diffusion). The inner contact can be a metallization or a p-type ion implantation. Positive bias voltage is applied to the outer contact to achieve diode depletion.

The reverse-electrode coaxial detector (n-type) is made with a p^+ outer contact. This outer contact may be made by metallization or ion implantation/(Figure 4.3.2b). The inner contact is typically lithium diffusion, but it can be any non-injecting contact. Negative bias voltage is applied to the outer contact to achieve diode depletion. Thin outer contacts make it possible to use this detector for X-ray spectroscopy as well as higher-energy gamma-ray spectroscopy. The thin outer contact makes it particularly appropriate for use with anti-Compton shielding. Reverse-electrode coaxial detectors are more resistant to neutron damage than are conventional electrode coaxial detectors.

The lithium compensated germanium, Ge(Li), coaxial detector is made from p-type germanium through which lithium ions have been drifted in an electric field to provide acceptor compensation (Figure 4.3.2c). The resulting material behaves approximately as intrinsic germanium if the compensation is precise.

Because compensation is unstable at room temperature, Ge(Li) detectors shall be kept at liquid nitrogen temperature at all times.

The outer contact is an n-type lithium diffusion. The inner contact is normally the undrifted core of p-type material. Coaxial detectors may have the electrodes in an open-ended or a closed-ended configuration.

Well-type coaxial detectors are mounted and encapsulated in such a way that radioactive samples may be inserted within the inner electrode; the sample is essentially surrounded by active detector volume (Figure 4.3.2d).

Typically a conventional electrode detector is used. The hole for the inner electrode faces the end window. The endcap contains a well which protrudes into the inner electrode.

5. General requirements

The following requirements apply for all tests and measurements described in this standard:

- a) Maximum detector bias voltage, device ambient temperature and environment, and other operational limits specified by the detector manufacturer should not be exceeded since permanent changes of the detector characteristics may result.

- b) L'alimentation haute tension du détecteur, l'amplificateur, l'analyseur multicanal, et les autres équipements d'essai ne doivent pas influencer significativement les mesures des paramètres du détecteur pour cause d'instabilité, de non linéarité ou d'autres défauts.
- c) Toutes les mesures et rapports d'essais doivent être faits suivant les bons usages scientifiques. Des modifications d'éléments du système de test ou de paramètres (par exemple le gain de l'amplificateur) ne doivent pas être faits sans recalibration complète du système. Des résultats qui comportent les effets dus à la modification de plus d'un paramètre doivent montrer explicitement les effets de chaque paramètre sur la mesure.
- d) Les valeurs des paramètres mesurés devront être reproductibles, dans la limite de la précision spécifiée de la mesure, après la réalisation de l'un quelconque des essais, ou de tous les tests réalisés.

6. Mesures de spectrométrie en énergie

Les essais pour l'évaluation des caractéristiques des détecteurs germanium impliquent la détermination d'un certain nombre de paramètres d'un pic d'une distribution spectrale d'amplitudes. L'obtention et l'utilisation de ces paramètres sont discutées dans cet article. Les méthodes décrites ont été choisies pour leur simplicité et leur facilité de calcul bien que, dans certaines circonstances, comme par exemple en présence de pics sérieusement déformés, il est reconnu qu'un traitement par ordinateur peut fournir des résultats plus précis. Pour les analyses décrites ci-dessous, un pic spectral doit avoir une largeur d'au moins six canaux à mi-hauteur et le nombre total de coups à l'intérieur de la LTMH doit être d'au moins 50000. La résolution en énergie, la forme du pic et le rapport pic sur Compton sont sensibles à la géométrie source-détecteur. La source doit être placée dans l'axe, à 25 cm du centre de la face avant du capot du détecteur, sauf spécification contraire.

6.1 Radionucléides utilisés comme sources

Les sources radioactives énumérées ci-dessous sont recommandées pour les mesures spécifiant la résolution en énergie pour le détecteur, ou l'ensemble de spectrométrie, ou les deux:

Source radioactive	Demi-vie	Energie
⁵⁵ Fe	2,7 a (ans)	5,9 keV*
²⁴¹ Am	433 a	59,5 keV*, 26,36 keV, rayons X
¹⁰⁹ Cd	453 j (jours)	22,1 keV* (doublet X), 88,0 keV*
⁵⁷ Co	270 j	122,1 keV* et 136,5 keV
¹³⁷ Cs	30 a	661,6 keV*
²² Na	2,60 a	1 274,5 keV*
⁶⁰ Co	5,24 a	1 173,2 keV* et 1 332,5 keV**
²⁰⁸ Tl	1,91 a	2 614,5 keV* (source de ²²⁸ Th)

* Cette raie est conseillée pour les spécifications de détecteurs coaxiaux.

* Gamma et X recommandés pour les mesures de résolution en énergie.

Le ⁵⁶Co (77 j) avec des gammas s'échelonnant en énergie de 847 keV à 3 600 keV et le ¹⁵²Eu (13 a) avec des gammas s'échelonnant en énergie de 122 keV à 1 769 keV constituent des sources à raies multiples très largement utilisées. Dans les mesures de résolution en énergie, on suppose que le système est calibré en eV, ou keV par canal.

- b) The detector bias supply, amplifier, multichannel analyzer, and other test equipment shall not significantly influence the detector parameter measurements because of instability, nonlinearity or other performance defects.
- c) All measurements shall be made and reported in accordance with good scientific practice. Changes in test system components or changes in system parameters (e.g. amplifier gain) shall not be made without complete system recalibration. Results which contain the effects of changing more than one parameter shall explicitly show the effects of each parameter on the measurement.
- d) The values of the parameters measured should be reproducible within the stated precision of the measurement after the performance of any one or all of the tests performed.

6. Energy spectroscopy measurements

Tests for evaluating the characteristics of germanium detectors involve the determination of a number of parameters of a peak in a spectral pulse-height distribution. The derivation and use of these peak parameters are discussed in this clause. The methods described have been chosen for their simplicity and ease of computation, although it is recognized that under certain circumstances, such as in the presence of seriously distorted spectral peaks, computer fitting may yield more precise results. For the analyses described below, a spectral peak shall be at least six channels wide at half-maximum and the total number of counts within the FWHM shall be at least 50 000. Energy resolution, peak shape, and peak-to-Compton ratio are sensitive to the detector-source geometry. The source shall be located on-axis, 25 cm from the center of the front of the detector endcap, unless otherwise specified.

6.1 Useful radionuclide sources

The radiation sources listed below are recommended for specifying measurements of energy resolution for the detector and spectrometry system or both:

Radiation source	Half-life	Energy
⁵⁵ Fe	2,7 y (year)	5,9 keV*
²⁴¹ Am	433 y	59,5 keV*, 26,36 keV, X-rays
¹⁰⁹ Cd	453 d (days)	22,1 keV* (X-ray doublet), 88,0 keV*
⁵⁷ Co	270 d	122,1 keV* and 136,5 keV
¹³⁷ Cs	30 y	661,6 keV*
²² Na	2,60 y	1 274,5 keV*
⁶⁰ Co	5,24 y	1 173,2 keV* and 1 332,5 keV**
²⁰⁸ Tl	1,91 y	2 614,5 keV* (²²⁸ Th source)

* This line is preferred for coaxial detector specifications.

** Gamma- and X-rays recommended for energy resolution measurements.

Widely used multi-line sources are 77 d ⁵⁶Co with gamma-rays ranging in energy from 847 keV to 3 600 keV, and 13 y ¹⁵²Eu with gamma rays ranging in energy from 122 keV to 1 769 keV. In energy resolution measurements, it is assumed that the system is calibrated in terms of eV, or keV per channel.

Cela peut être obtenu en utilisant pour la calibration des raies suffisamment proches en énergie du pic étudié afin de réduire les problèmes liés aux non linéarités du système. Par exemple, dans le cas du ^{60}Co , les raies 1 173,2 keV et 1 332,5 keV sont bien adaptées à cette fin, mais dans le cas du ^{137}Cs , émetteur gamma monoénergétique, il est possible d'utiliser une source supplémentaire comme le ^{207}Bi (569,7 keV) ou le ^{54}Mn (835 keV) pour disposer d'une raie additionnelle.

6.2 Méthode

Connecter le détecteur à un préamplificateur intégrateur, un amplificateur et un analyseur d'amplitude multicanal comme indiqué dans la figure 6.2.1.

Note. — Le détecteur et le préamplificateur peuvent se présenter sous forme d'un ensemble intégré; le couplage peut être alternatif ou continu. On pourra utiliser la mise en forme de l'amplificateur la mieux adaptée pour des performances optimales du détecteur. Le type de mise en forme de l'amplificateur utilisé et la durée à mi-hauteur des impulsions doivent être indiqués avec chaque résolution mesurée ou avec chaque spécification. Un générateur d'impulsions (spécifié dans la CEI 333) connecté au système, comme indiqué dans la figure 6.2.1, peut fonctionner simultanément au comptage gamma, sous réserve qu'il soit démontré que le générateur ne déforme pas les autres pics (par exemple, à cause d'un rebondissement sous la ligne de base) ou ne cause pas d'erreur significative dans la correction du temps mort, en cas de mesure d'efficacité.

6.3 Surface du pic et fond continu du spectre

Le spectre d'amplitude sera enregistré en échelle semi-logarithmique, log du nombre de coups N_x dans le canal X en fonction du numéro de canal X. Sur cet enregistrement semi-logarithmique, des lignes droites représentant une approximation de la distribution du bruit de fond sous le pic seront adaptées à la distribution d'amplitudes de part et d'autre du pic, par exemple, les lignes *a-d* et *e-h* représentées dans la figure 6.3.1. On pourra utiliser la valeur moyenne d'un groupe de 10 contenus de canaux pour faciliter l'adaptation des lignes au fond, au-dessus et en dessous du pic. Tracer une courbe continue reliant les points représentant les contenus des canaux du pic et la prolonger de part et d'autre de la base du pic jusqu'à l'intersection des droites représentatives du fond continu, par exemple *E-F* et *G-H* dans la figure 6.3.1. Le fond sous le pic est défini comme la surface sous la ligne droite reliant ces points d'intersection, par exemple *A-D* et *E-H* dans la figure 6.3.1.

La surface totale du pic A_t est obtenue en additionnant les contenus des canaux du pic situés entre ces points d'intersection:

$$A_t = \sum_{X=E}^H N_x \quad (1)$$

De même, la surface du fond A_b est obtenue en additionnant les coups par canal en dessous de la ligne définissant le fond:

$$A_b = \sum_{X=E}^H B_x \quad (2)$$

La surface du pic A est alors donnée par:

$$A = A_t - A_b \quad (3)$$

6.4 Abscisse du sommet du pic

Calculer, point par point, le nombre de coups par canal moins le fond $N_x - B_x$, en fonction de X. Déterminer par interpolation la fraction de numéro de canal \hat{X}

This can be achieved by using calibration lines which should be sufficiently close in energy to the peak under study to reduce problems arising from system nonlinearities. For example, in the case of ^{60}Co , the 1 173,2 keV and 1 332,5 keV lines are suitable for this purpose, but in the case of the monoenergetic gamma-emitter ^{137}Cs , it is possible to use a supplementary source such as ^{207}Bi (569,7 keV) or ^{54}Mn (835 keV) to provide an additional line.

6.2 Method

Connect the detector to an integrating preamplifier, main amplifier, and multichannel pulse-height analyzer as shown in Figure 6.2.1.

Note. — The detector and preamplifier may be supplied as an integral unit; coupling may be a.c. or d.c. Amplifier pulse shaping suitable for optimum performance of the detector may be used. The type of amplifier pulse shaping used and the full width at half maximum of the pulse shall be given with each stated resolution measurement or specification. A pulse generator (specified by IEC 333), connected to the system as shown in Figure 6.2.1, can be run simultaneously with the gamma-ray counting, provided it is demonstrated that the pulser does not distort other peaks (e.g. by baseline undershoot) or cause significant errors in dead-time correction in the case of an efficiency measurement.

6.3 Peak area and spectral background

Pulse-height spectral data should be plotted as the log of the number of counts N_x in channel X versus channel number X . On this semilog plot, straight lines representing an approximation to the background distribution under the peak should be fitted to sections of the pulse-height distribution on either side of the peak, for example, the lines $a-d$ and $e-h$ shown in Figure 6.3.1. The mean value of groups of 10 data points may be used to facilitate fitting the background lines above and below the peak. Draw a smooth curve through the peak data points, extending the curve on each side at the base of the peak to intersect the background lines, for example, $E-F$ and $G-H$ in Figure 6.3.1. The background under the peak is considered to be the area below the straight line bounded by the points of intersection with the peak curve lines, for example, $A-D$ and $E-H$ in Figure 6.3.1.

The total peak area A_t is obtained by summing the counts per channel in the peak distribution over the curve bounded by the points of intersection with the background line:

$$A_t = \sum_{X=E}^H N_x \quad (1)$$

Similarly, the area of the background A_b is found by summing the counts per channel B_x for the background:

$$A_b = \sum_{X=E}^H B_x \quad (2)$$

The area of the peak A is then given by:

$$A = A_t - A_b \quad (3)$$

6.4 Peak center

Calculate, point by point, the number of counts per channel less background $N_x - B_x$ as a function of channel number X . Determine the interpolated fractional channel

correspondant au maximum du pic spectral monoénergétique (voir figure 6.4.1). On pourra utiliser la méthode de la moyenne pondérée pour les valeurs de N situées dans la partie où le pic est symétrique, par exemple, au-dessus de la mi-hauteur du pic:

$$\hat{X} = \sum X (N_x - B_x) / \sum (N_x - B_x) \quad (4)$$

6.5 LTMH, LT 0,1 M et LT 0,02 M d'un pic

Sur une représentation linéaire de $N_x - B_x$ en fonction de X , déterminer $1/2$, $1/10$ et $1/50$ de l'amplitude du pic. Déterminer LTMH, LT 0,1 M et LT 0,02 M du pic en canaux ΔN_s (en interpolant). Les rapports de ces valeurs (LT 0,1 M/LTMH et LT 0,02 M/LTMH) sont souvent utilisés comme indications de la symétrie d'un pic.

6.6 Rapport pic sur Compton

Déterminer la hauteur moyenne \bar{N}_c de la portion de la distribution Compton dans la région du spectre définie par l'intervalle relativement plat situé entre 358 keV et 382 keV dans le cas des gammas de 661,6 keV du ^{137}Cs , ou entre 1 040 keV et 1 096 keV pour les gammas de 1 332,5 keV du ^{60}Co . Ces régions sélectionnées évitent le front Compton. Le rapport pic sur Compton est défini comme le rapport du nombre de coups maximaux \hat{N}_x au sommet du pic \hat{X} , à \bar{N}_c (voir figure 6.6.1). On notera que \hat{X} et \hat{N}_x sont en général des valeurs interpolées. La source utilisée doit être spécifiée.

Le rapport pic sur Compton est un indice de performance du détecteur qui dépend de la géométrie du détecteur, du montage, de la construction du cryostat, de l'efficacité et de la résolution du détecteur. Ce rapport est inversement proportionnel à la résolution si les autres facteurs restent inchangés. Il augmente, de façon générale, avec l'efficacité croissante du détecteur, mais l'augmentation est fonction, dans une large mesure, des modifications de la géométrie du détecteur qui accompagnent une augmentation de son volume.

Toutes choses étant égales par ailleurs, le rapport pic sur Compton est plus grand pour les géométries de détecteur qui augmentent la probabilité d'absorption totale de l'énergie de photons ayant subi initialement une diffusion Compton dans le détecteur. Le rapport pic sur Compton est diminué par la diffusion Compton dans les matériaux entourant le détecteur et la source (y compris les régions inactives du détecteur germanium). Généralement les détecteurs avec des rapports pic sur Compton élevés possèdent des rapports pic/vallée élevés et une meilleure statistique de comptage pour les spectres complexes.

6.7 Résolution en énergie

Le pic à mesurer et un second pic devront être localisés dans le spectre et leurs sommets \hat{X}_1 et \hat{X}_2 déterminés pour la calibration en énergie (voir 6.4). Si nécessaire, le deuxième pic peut être produit par un générateur d'impulsions calibré de précision. (Voir la CEI 333, 4.1, pour les instructions sur la calibration du générateur.)

Sur une représentation linéaire de $N_x - B_x$ déterminer la LTMH du pic en canaux ΔN_s (interpolée). A partir de l'énergie et de la position du pic à mesurer, E_1 et \hat{X}_1 , et de celles E_2 et \hat{X}_2 d'un second pic, la LTMH en unités d'énergie est donnée par:

$$\Delta E_s = \frac{E_1 - E_2}{\hat{X}_1 - \hat{X}_2} \Delta N_s \quad (5)$$

La valeur ΔE_s est la résolution totale en énergie du spectre à l'énergie E_1 .

number \hat{X} corresponding to the maximum of the monoenergetic spectral peak (see Figure 6.4.1). A convenient technique is the weighted average method for values of N in the symmetrical portion of the peak, for example, above the half-maximum height:

$$\hat{X} = \sum X (N_x - B_x) / \sum (N_x - B_x) \quad (4)$$

6.5 FWHM, FW 0,1 M and FW 0,02 M of a peak

On a linear plot of $N_x - B_x$ versus X , determine the $1/2$, $1/10$ and $1/50$ height of the peak. Determine the FWHM, FW 0,1 M, FW 0,02 M of the peak in channels ΔN_s (interpolated). Ratios of these values (FW 0,1 M/FWHM and FW 0,02 M/FWHM) are often given as indicators of peak shape quality.

6.6 Peak-to-Compton ratio

Determine the average height \bar{N}_c of the portion of the Compton continuum in the average region defined by the relatively flat interval from 358 keV to 382 keV for the ^{137}Cs 661,6 keV gamma-ray or 1040 keV to 1096 keV for the ^{60}Co 1332,5 keV gamma-ray. These selected regions avoid the Compton edge. The peak-to-Compton ratio is defined as the ratio of the maximum number of counts in the peak, \hat{N}_x at channel number \hat{X} , to \bar{N}_c (see Figure 6.6.1). Note that in general \hat{X} and \hat{N}_x are interpolated values. The source used shall be stated.

The peak-to-Compton ratio is a detector performance index which depends on detector geometry, mount and cryostat construction, detector efficiency and detector resolution. This ratio is inversely proportional to resolution if other factors remain unchanged. It generally increases with increasing detector efficiency, but the extent of this effect is determined by the specific nature of the accompanying changes in detector geometry.

Other things being equal, the peak-to-Compton ratio is greater for detector geometries which maximize the probability of total absorption of the energy of photons which are initially Compton scattered within the detector. The peak-to-Compton ratio is adversely affected by Compton scattering which occurs in material (including inactive detector germanium) which is near the detector or source. Typically, detectors with larger peak-to-Compton ratios have larger line-to-background ratios and better counting statistics for complex spectra.

6.7 Spectral energy resolution

The peak to be measured and a second peak should be located in the spectrum and their centres \hat{X}_1 and \hat{X}_2 determined for the purpose of energy calibration (see 6.4). If needed, the second peak may be produced by a calibrated precision pulse generator. (See IEC 333, 4.1, for pulser calibration instructions.)

On a linear plot of $N_x - B_x$ determine the FWHM of the peak in channels ΔN_s (interpolated). From the energy and location of the peak being measured, E_1 and \hat{X}_1 , and of a second peak, E_2 and \hat{X}_2 , the FWHM in energy units is given as follows:

$$\Delta E_s = \frac{E_1 - E_2}{\hat{X}_1 - \hat{X}_2} \Delta N_s \quad (5)$$

The value ΔE_s is the total spectral energy resolution at energy E_1 .

Le type utilisé de mise en forme d'impulsions d'amplificateur et la durée à mi-hauteur des impulsions doivent être indiqués avec chaque mesure ou spécification de résolution dont on fait état. On devra indiquer également le taux de comptage auquel la résolution a été mesurée et le produit taux de comptage maximal - énergie (PTCE) du préamplificateur utilisé. Le PTCE maximal correspond au débit maximal d'énergie à l'entrée pour lequel le préamplificateur reste dans sa dynamique de réponse linéaire. Par exemple, dans un préamplificateur à contre-réaction résistive le PTCE maximal est déterminé par la résistance de contre-réaction et la tension maximale de contre-réaction. Le produit taux de comptage-énergie est défini par:

$$\text{PTCE} = \sum_E E \times r_E \text{ (keV s}^{-1}\text{)}$$

où r_E est le taux de comptage (c/s^{-1}) à une énergie E en keV.

6.8 Résolution électrique et contribution du détecteur

Enregistrer, séparément ou sur le même spectre, un spectre gamma et un pic test dû au générateur d'impulsions. Mesurer ΔE_s , LTMH pour le pic gamma, et ΔE_T , LTMH pour le pic test. Se reporter à la CEI 333 si des informations supplémentaires sont nécessaires au sujet de l'utilisation d'un générateur d'impulsions pour mesurer le bruit. La valeur de ΔE_T est la résolution électronique due au bruit, du système de spectrométrie. La contribution à la largeur de la raie spectrale due à tous les facteurs autres que le bruit électrique est désignée par ΔE_o et est donnée par:

$$\Delta E_o = (\Delta E_s^2 - \Delta E_T^2)^{1/2} \quad (6)$$

Si les données ont été acquises à un taux de comptage suffisamment bas pour éliminer les effets dus au taux de comptage, ΔE_o est due principalement aux processus de génération et de collection de charge dans le détecteur et constitue une caractéristique importante du détecteur.

6.9 Asymétrie du pic

L'asymétrie d'un pic, due à un certain nombre de facteurs incluant le piégeage et le déficit balistique, apparaît comme une traînée sur le côté faible énergie du pic gamma. Les mesures devront être effectuées à un taux de comptage suffisamment faible pour que l'asymétrie du pic due à des effets liés au taux de comptage et provenant de l'amplificateur, soit négligeable. A titre de comparaison et d'évaluation, l'analyse ci-dessous peut être effectuée.

Sur une représentation semi-logarithmique de $(N_X - B_X)$ en fonction de X , tracer, à partir du sommet du pic à l'abscisse \hat{X} , une droite perpendiculaire à l'axe des abscisses. Mesurer, au 1/10 de l'amplitude du pic, la largeur entre cette ligne médiane et l'enveloppe du pic (intervalle L , voir figure 6.9.1). Mesurer l'intervalle correspondant H du côté haute énergie de la médiane (voir figure 6.9.1). Calculer l'asymétrie du pic définie par le rapport H/L et indiquer l'énergie gamma correspondante. Le rapport d'asymétrie peut également être calculé pour d'autres fractions spécifiées de l'amplitude du pic.

6.10 Résolution d'un détecteur puits

Comme certains détecteurs peuvent présenter une mauvaise collection des charges près du contact interne, les mesures de résolution pour les détecteurs puits seront faites avec une source quasi-ponctuelle située dans l'axe, à 1,0 cm du centre du fond du puits du capot (voir figure 4.3.2d). Des détecteurs avec un champ électrique faible au contact interne auront des performances médiocres avec une source placée à l'intérieur du puits.

The type of amplifier pulse shaping used and the full width at half maximum of the pulse shall be given with each stated resolution measurement or specification. Also, the count rate at which the resolution was measured and the maximum count rate-energy product (CREP) capability of the preamplifier used shall be stated. The maximum CREP corresponds to the maximum rate of energy input at which the preamplifier will still operate within its linear response range. For example, in a resistive feedback preamplifier the maximum CREP is determined by the feedback resistor and the maximum feedback voltage. The count rate-energy product is defined as:

$$\text{CREP} = \sum_E E \times r_E \text{ (keV s}^{-1}\text{)}$$

where r_E is the count rate (c/s^{-1}) at the energy E in keV.

6.8 Total noise linewidth and detector contribution

Separately or as part of the same spectrum, obtain a gamma-ray spectrum and a pulser-generated peak. Measure ΔE_s , FWHM for the gamma-ray peak, and ΔE_T , FWHM for the pulser peak. Refer to IEC 333 if more information is needed about using a pulser to measure noise. The value of ΔE_T is the total noise linewidth for the spectroscopy system. The contribution to the spectral linewidth due to all factors other than electrical noise is designated as ΔE_o and is given by:

$$\Delta E_o = (\Delta E_s^2 - \Delta E_T^2)^{1/2} \quad (6)$$

If the data have been acquired at a sufficiently low count rate to eliminate count rate effects, ΔE_o is primarily due to the detector charge generation and collection processes and is an important characteristic of the detector.

6.9 Peak asymmetry

Peak asymmetry, due to a number of factors, including carrier trapping and ballistic deficit, appears as tailing on the low-energy side of the gamma-ray peak. Measurements should be made at count rates sufficiently low for peak asymmetry due to count-rate effects from the amplifier to be negligible. For purposes of comparison and evaluation, the following analysis can be used.

On a semilog plot of $(N_X - B_X)$ versus X , draw a line from the apex of the peak at channel \hat{X} perpendicular to the abscissae. Measure, at the 1/10 height level, the width from the low energy side of the peak envelope to the midline (interval L , see Figure 6.9.1). Measure the corresponding interval H on the high energy side of the midline (see Figure 6.9.1). Quote peak asymmetry as the ratio H/L and state the gamma-ray energy for which it applies. The asymmetry ratio may also be calculated at other specified fractional peak heights.

6.10 Well-type detector resolution

Since some detectors may have poor charge collection near the inner contact, resolution measurements for well detectors shall be made with an approximate point source located on axis 1.0 cm from the bottom centre of the end cap well (see Figure 4.3.2d). Detectors with a low electric field strength at the inner contact will perform poorly with the source inside the well. The measurement methods and radioactive

Les méthodes de mesure et les radionucléides utilisés sont par ailleurs les mêmes que pour les autres détecteurs germanium. Cependant, les sources radioactives doivent être encapsulées de manière à permettre une insertion facile dans le puits.

6.11 *Energies conseillées*

Il est souhaitable d'établir une certaine standardisation dans les mesures de résolution des détecteurs. Aussi on préférera effectuer les mesures de résolution à des énergies spécifiques choisies en fonction du domaine d'énergie pour lequel le détecteur doit être évalué. Les raies et les radionucléides à utiliser de préférence sont énumérés ci-dessous en fonction du domaine d'énergie:

Domaine d'énergie	Raies conseillées et radionucléides
> 1 MeV	1 332,5 keV (^{60}Co)
400 keV–1 MeV	661,6 keV (^{137}Cs)
70 keV–400 keV	122,1 keV (^{57}Co)
< 70 keV	5,9 keV (^{55}Fe), 22 keV (^{109}Cd)

On se reportera à 6.1 pour une sélection plus large de radionucléides. Toute raie constituée par un doublet non résolu doit être identifiée, spécifiée et mesurée sans déconvolution de pics.

7. Efficacité de comptage

L'efficacité de comptage gamma dans un pic d'énergie totale ou dans un pic d'échappement dépend du volume actif du détecteur germanium, de sa forme (géométrie), de la géométrie source/détecteur et des interactions dans les matériaux situés au voisinage immédiat du détecteur, tels que le montage du détecteur et les composants du cryostat. L'efficacité est définie comme celle du système complet détecteur-cryostat.

Trois géométries source/détecteur sont spécifiées dans la présente norme: une source ponctuelle à 25,0 cm du centre de la partie frontale du capot du détecteur, une source normalisée en récipient enveloppant, coiffant le capot du cryostat et une source ponctuelle à 1,0 cm du fond du puits d'un détecteur puits. Quoique représentatives, ces géométries ne constituent pas les seules géométries pouvant être utilisées. Cependant, les mesures effectuées dans ces conditions spécifiées constituent une base normalisée pour les essais, la comparaison et le choix de détecteurs, pour la plupart des applications.

Lorsque l'efficacité est donnée en tant que spécification, le type de mesure d'efficacité effectué doit être clairement signalé.

7.1 *Efficacité pour une source ponctuelle à 25,0 cm*

7.1.1 *Efficacité absolue de comptage dans le pic d'énergie totale*

Le détecteur étant relié à l'équipement électronique auxiliaire, comme indiqué dans la figure 6.2.1, enregistrer un spectre à l'aide d'une source de ^{60}Co étalonnée. La distance source-capot du cryostat doit être de 25,0 cm (mesure effectuée entre le centre de la source et le centre de la partie frontale du capot). L'efficacité absolue de comptage dans le pic d'énergie totale E_a est définie, à titre de comparaison et de spécification, comme le rapport du nombre de chocs A dans le pic d'énergie totale (voir 3.1) au nombre total N_s de photons gamma de 1332,5 keV émis par la source durant le temps de comptage actif:

$$E_a = A/N_s \quad (7)$$

nuclides used are otherwise the same as for other germanium detectors. However, radioactive sources shall be encapsulated in such a way as to permit easy insertion into the well.

6.11 Preferred energies

It is desirable to achieve some standardization in detector resolution measurements. Thus it is preferred to make resolution measurements at specific energies chosen according to the energy range for which the detector is to be evaluated. The preferred energy lines and radionuclides are listed according to energy range as follows:

Energy range	Preferred energy lines and radionuclides
> 1 MeV	1 332,5 keV (^{60}Co)
400 keV–1 MeV	661,6 keV (^{137}Cs)
70 keV–400 keV	122,1 keV (^{57}Co)
< 70 keV	5,9 keV (^{55}Fe), 22 keV (^{109}Cd)

See 6.1 for a wider range of radionuclide selections. All lines that are unresolved doublets shall be identified, specified and measured without peak deconvolution.

7. Counting efficiency

The gamma-ray counting efficiency for a full energy peak or an escape peak depends upon the active volume of the germanium detector, its shape (geometry), source/detector geometry, and interactions in the material in the immediate vicinity of the detector, such as the detector mount and cryostat parts. The efficiency is defined as that of the complete detector assembly.

Three source/detector geometries are specified in this standard: a point source 25,0 cm from the center of the front of the detector endcap, a reentrant beaker standard source placed over the detector endcap, and a point source on axis 1,0 cm from the bottom of the well of a well-type detector. While representative, these geometries do not correspond to all of the many possible geometries which may be used. However, measurements made under these specified conditions provide a standard basis for testing, comparing and selecting detectors for most applications.

When efficiency is quoted as a specification, the type of efficiency measurement shall be clearly stated.

7.1 Efficiency for a point source at 25,0 cm

7.1.1 Absolute full-energy peak counting efficiency

With the detector connected to the auxiliary electronic equipment as shown in Figure 6.2.1, obtain a spectrum using a calibrated ^{60}Co source. The source-to-cryostat endcap distance (as measured from the center of the source to the center of the front of the endcap) shall be 25,0 cm. The absolute full-energy peak counting efficiency E_a is stated, for purposes of comparison and specification, as the ratio of the number of counts A in the full-energy peak (see 3.1) to the total number of 1332,5 keV gamma-ray photons N_s emitted by the source during the live counting time:

$$E_a = A/N_s \quad (7)$$

Comme variante, on peut déterminer le temps de comptage à partir de la surface d'un pic test situé en énergie $\sim 5\%$ au-dessus du pic gamma, et obtenu à l'aide d'un générateur d'impulsions fonctionnant à un taux de comptage constant et connu. Pour des applications dans lesquelles la source sera très proche du capot du cryostat, une mesure d'efficacité additionnelle, simulant cette condition, est conseillée.

7.1.2 Efficacité relative de comptage dans le pic d'absorption totale

L'efficacité E_{rel} d'un détecteur germanium relative à un scintillateur NaI(Tl) de 3×3 pouces (76 mm \times 76 mm) à une distance source-détecteur de 25,0 cm (comme défini en 7.1.1) peut être déterminée comme suit:

$$E_{rel} = A/A_{NaI} \quad (8)$$

où A est la surface du pic obtenue en 7.1.1.

Le terme A_{NaI} est égal à $1,2 \cdot 10^{-3} N_s$ pour les gammas de 1332,5 keV du ^{60}Co émis à une distance source-centre de la capsule du détecteur de 25,0 cm.

7.2 Efficacité d'un détecteur gamma coaxial type puits

Un détecteur coaxial puits possède une cavité rentrante dans le capot qui pénètre dans un trou central à l'intérieur du cristal détecteur. Dans un détecteur coaxial puits (figure 4.3.2d), une source radioactive placée dans le puits est entourée presque entièrement par du germanium actif. Il en résulte, d'une manière générale, une très bonne efficacité absolue de détection gamma.

En raison de l'efficacité absolue relativement élevée obtenue avec un détecteur puits, la fraction de photons gamma en coïncidence qui sont sommés est beaucoup plus grande que pour les géométries dans lesquelles la source se trouve à l'extérieur du capot. De ce fait, pour deux raies émises en coïncidence, un pic somme significatif apparaît dans le spectre. Chaque choc dans ce pic représente la détection simultanée de l'énergie totale de deux gammas correspondant aux deux raies.

Pour l'une des deux raies en coïncidence, le nombre de photons d'énergie totale détectés est égal à la somme du nombre de chocs dans le pic d'énergie totale A et du nombre de chocs dans le pic somme A_s . Pour une mesure correcte, le nombre de photons gamma détectés qui correspond à une telle raie en coïncidence doit être représenté par la somme $(A + A_s)$.

Il est particulièrement important de prendre en considération l'effet de sommation des événements en coïncidence vraie dans un détecteur puits, lorsqu'on spécifie son efficacité. Pour des détecteurs d'efficacité croissante, le rapport A_s/A croît du fait qu'une fraction plus grande de chocs tombe dans le pic somme. De ce fait, si on n'utilise que le nombre de chocs A dans le pic d'énergie totale pour calculer l'efficacité absolue, celle-ci va être progressivement amputée alors que l'efficacité réelle croît. Pour calculer l'efficacité du détecteur en utilisant l'une des deux raies gamma en coïncidence, il est nécessaire d'utiliser la somme $(A + A_s)$ pour représenter le nombre de gammas détectés à l'énergie totale correspondant à cette raie.

L'efficacité de comptage d'un détecteur puits* devra être mesurée avec une source de ^{60}Co approximativement ponctuelle (moins de 2,0 mm de dimension maximale) placée à

* Le volume actif du détecteur germanium (en cm^3) a longtemps été utilisé comme un indicateur de l'efficacité des détecteurs puits. Le volume actif (en cm^3) de germanium ne constitue pas une spécification acceptable, car l'utilisateur n'a aucun moyen de vérifier le volume actif du détecteur et que ce dernier n'est pas un indicateur sûr de l'efficacité de comptage.

Alternatively, the counting time may be determined from the area of a pulser peak run at a constant known rate with the pulser line appearing $\sim 5\%$ above the gamma-ray peak in energy. For applications in which a source will be close to the cryostat endcap, an additional efficiency measurement simulating this condition is useful.

7.1.2 Relative full-energy peak counting efficiency

The efficiency E_{rel} of a germanium detector relative to that of a 3×3 in (76 mm \times 76 mm) NaI(Tl) scintillation crystal at a source-to-detector distance of 25,0 cm (as defined in 7.1.1) may be determined from the following:

$$E_{\text{rel}} = A/A_{\text{NaI}} \quad (8)$$

where A is the peak area as obtained in 7.1.1.

The term A_{NaI} is $1,2 \cdot 10^{-3} N_s$ for the 1332,5 keV gamma-ray emitted from ^{60}Co at a source-to-detector endcap center distance of 25,0 cm.

7.2 Well-type coaxial detector gamma-ray efficiency

A well-type coaxial detector has a reentrant cavity well in the endcap which extends into a central hole within the detector element. In a well-type coaxial detector (Figure 4.3.2d) a radionuclide source inserted in the well is essentially surrounded by active germanium. This typically results in a very high absolute efficiency for gamma-ray detection.

For the relatively high absolute efficiency often achieved with a well-type detector, the fraction of coincident gamma rays which are summed is much greater than for geometries in which the source is located outside the endcap. Thus for two lines with coincident gamma rays, a significant sum peak appears in the spectrum. Each count in this peak represents the simultaneous full-energy detection of two gamma rays corresponding to the two lines.

For one of two coincident lines, the number of photons detected at full energy is equal to the sum of the number of counts in the full energy peak A and the number of counts in the sum peak A_s . For an accurate measurement, the number of gamma rays detected which correspond to one such coincident line shall be represented by the sum $(A + A_s)$.

The effect of true coincidence summing in a well detector is an especially important consideration for specifying detector efficiency. As the absolute detector efficiency goes up, the ratio A_s/A increases as a greater fraction of counts falls in the sum peak. Thus if only the number of counts A in the full-energy peak is used to calculate absolute efficiency, the calculated efficiency will become progressively deficient as the actual efficiency increases. To calculate detector efficiency using one of two coincident lines, the sum $(A + A_s)$ shall be used to represent the number of gamma rays detected at full energy corresponding to that line.

Counting efficiency of a well-type detector* should be measured with an approximate point source of ^{60}Co (less than 2,0 mm maximum dimension) located 1,0 cm above the

* One commonly used indicator of well detector efficiency has been the active volume of germanium (in cm^3). Active volume (in cm^3) of germanium is not an acceptable detector specification because the user has no way to verify the active detector volume and because it is not a reliable indicator of counting efficiency.

1,0 cm au-dessus du fond du puits du capot. La méthode décrite en 6.2 devra être utilisée pour enregistrer un spectre. Le comptage de coïncidences fortuites doit être rendu négligeable en contrôlant le taux de comptage et les constantes de temps de mise en forme de l'amplificateur et en utilisant un circuit de rejet des empilements. La raie à 1332,5 keV du ^{60}Co est en coïncidence avec la raie à 1173,2 keV, ce qui provoque un pic somme à 2505,7 keV.

La surface des pics à 1332,5 keV et 2505,7 keV sera déterminée par la méthode indiquée en 6.3. L'efficacité dans le puits (W) est donnée par:

$$W = \frac{A + A_s}{N_s} \quad (9)$$

où:

A est la surface du pic à 1332,25 keV

A_s est la surface du pic somme à 2505,7 keV

N_s est le nombre total de photons de 1332,5 keV émis par la source pendant le temps de comptage actif

7.3 Efficacité d'un détecteur gamma dans une géométrie utilisant un récipient enveloppant normalisé¹⁾

7.3.1 Généralités

Une mesure d'efficacité utilisant une géométrie avec récipient enveloppant normalisé est souhaitable en raison de la tendance croissante vers des échantillons de grand volume et de faible activité.

Bien que plusieurs géométries de récipients enveloppants soient utilisées, cette norme ne spécifie qu'une seule configuration dont le but est d'évaluer les performances du détecteur. L'utilisation d'une géométrie de source fixée permet la comparaison systématique des effets de la fenêtre d'entrée, du volume sensible, de la forme et d'autres caractéristiques du détecteur. La géométrie de récipient enveloppant spécifiée ici (figures 7.3.1 et 7.3.2) a été choisie principalement pour sa disposition presque optimale où le matériau échantillon est placé aussi près que possible de la région active du détecteur. Les détecteurs germanium sont encapsulés dans des cryostats, sous vide, de telle sorte que les dimensions internes ne sont pas facilement accessibles à l'utilisateur. Aussi dans cet article on fera référence aux dimensions externes du cryostat. Dans le cadre de cet article le détecteur est considéré comme composant d'un spectromètre simple sans dispositif d'anticoïncidence ou de suppression Compton. Le spectromètre sera mis en œuvre et calibré comme spécifié dans l'article 6.

7.3.2 Source normalisée en récipient enveloppant (SNRE)

Une source normalisée en récipient enveloppant (SNRE) consiste en un récipient enveloppant normalisé (voir 7.3.3) contenant un milieu support de matière radioactive (voir 7.3.4). Une SNRE peut être une SNRE homologuée, une SNRE étalonnée, une solution SNRE homologuée ou une solution SNRE étalonnée. L'incertitude d'étalonnage du taux d'émission de photons²⁾ pour un récipient rempli ne doit pas être supérieure à 3% (1σ) sauf spécification contraire.

¹⁾ Connue également sous la désignation de «récipient Marinelli».

²⁾ Le taux d'émission de photons utilisé dans cette norme est le nombre de photons par seconde résultant de la désintégration des radionucléides de la source; il est par conséquent supérieur au taux détecté à la surface.

bottom of the end cap well. The method described in 6.2 should be used to accumulate a spectrum. The counting of accidental coincidences shall be made negligible by controlling count rate and amplifier shaping time, and through the use of pulse-pile-up rejection. The 1332,5 keV line of ^{60}Co is in coincidence with the 1173,2 keV line resulting in a sum peak at 2505,7 keV.

Peak areas of the 1332,5 keV and the 2505,7 keV peaks should be determined by the method of 6.3. The in-well efficiency (W) is given by:

$$W = \frac{A + A_s}{N_s} \quad (9)$$

where:

A is the area of the 1332,5 keV peak

A_s is the area of the 2505,7 keV sum peak

N_s is the total number of 1332,5 keV photons emitted by the source during the live counting time

7.3 Detector gamma-ray efficiency using a standard reentrant beaker¹⁾ geometry

7.3.1 General

An efficiency measurement using a standard reentrant beaker geometry is desirable because of an increasing trend towards large-volume, low-activity samples.

Although many reentrant beaker geometries are in use, this standard measurement specifies a single configuration for the purpose of characterizing detector performance. The use of a fixed source geometry allows systematic comparison of the effect of window thickness, sensitive volume, detector shape, and other detector characteristics. The reentrant beaker geometry specified herein (Figures 7.3.1 and 7.3.2) has been chosen primarily for its near-optimum design in placing the sample material as near the active detector material as feasible. Germanium semiconductor detectors are encapsulated in vacuum cryostats such that internal dimensions are not readily measurable by the user. Therefore, in this clause reference is made to the cryostat external dimensions. For the purposes of this clause the detector is considered to be part of a single spectrometer where coincidence or Compton suppression modes are not used. The spectrometer shall be set up and calibrated as specified in Clause 6.

7.3.2 Reentrant beaker standard source (RBSS)

A Reentrant Beaker Standard Source (RBSS) consists of a standard reentrant beaker (see 7.3.3) containing a carrier with radioactive material (see 7.3.4). An RBSS may be a certified RBSS, a calibrated RBSS, a certified-solution RBSS or a calibrated-solution RBSS. The calibration uncertainty of the photon emission rate²⁾ for the filled beaker shall be not more than 3% (1σ) unless otherwise stated.

¹⁾ Also known as Marinelli beaker.

²⁾ The photon emission rate as used in this standard is the number of photons per second resulting from the decay of radionuclides in the source and is thus higher than the detected rate at the surface.

7.3.2.1 SNRE homologuée

Une SNRE homologuée est une SNRE qui a été étalonnée pour un taux d'émission de photons¹⁾ à des énergies déterminées par un laboratoire reconnu comme laboratoire national de normalisation habilité pour les mesures radioactives et a été certifiée par ledit laboratoire d'étalonnage.

7.3.2.2 SNRE étalonnée

Une SNRE étalonnée est une SNRE qui a été étalonnée par comparaison de son taux d'émission de photons à celui d'une SNRE homologuée.

7.3.2.3 Solution SNRE homologuée

Une solution SNRE homologuée est un récipient normalisé conforme aux dispositions de 7.3.3 qui contient une solution homologuée (voir 7.3.2.5) en tant que matière radioactive de remplissage (voir 7.3.4).

7.3.2.4 Solution SNRE étalonnée

Une solution SNRE étalonnée est un récipient normalisé conforme aux dispositions de 7.3.3 qui contient comme matière radioactive de remplissage (voir 7.3.4) une solution qui a été étalonnée par comparaison de son taux d'émission de photons à des énergies déterminées avec celui d'une solution homologuée (voir 7.3.2.5).

7.3.2.5 Solution homologuée

Une solution homologuée est un liquide radioactif de remplissage (voir 7.3.4) qui a été étalonné par un laboratoire reconnu comme laboratoire national de normalisation pour les mesures radioactives et a été certifiée par ledit laboratoire d'étalonnage.

7.3.3 Le récipient

Les récipients enveloppants sont des récipients puits inversés de tailles diverses utilisés pour les mesures de gros volumes, à bas niveau. Les récipients normalisés spécifiés ici (modèles 450 et 1000) sont détaillés à la figure 7.3.1. La figure 7.3.2 donne une représentation schématique d'une géométrie type échantillon-détecteur. Les récipients modèles 450 et 1000 ont respectivement une capacité de 450 cm³ et 1000 cm³. Le volume réel des récipients est supérieur à ces valeurs mais, pour les besoins de la présente norme, ils seront remplis avec ces quantités ± 2 cm³ (voir 7.3.4). Les récipients spécifiés ont été choisis en raison de leur:

- 1) haute efficacité de comptage pour le matériau échantillon utilisé;
- 2) disponibilité commerciale à faible coût;
- 3) usage habituel dans nombre de laboratoires;
- 4) compatibilité médicale.

7.3.4 Matière radioactive de remplissage

Le récipient utilisé pour la calibration de détecteurs ayant un diamètre de capot de 76,5 mm ou moins sera le modèle 450, pour les diamètres supérieurs on utilisera le

¹⁾ Commission Internationale des Unités et des Mesures de Radiation. *Certification des sources radioactives normalisées*. Rapport n° 12, 15 septembre 1968, de l'ICRU.

7.3.2.1 *Certified RBSS*

A certified RBSS is an RBSS that has been calibrated as to photon emission rate¹⁾ at specified energies by a laboratory recognized as a country's National Standardizing Laboratory for radioactivity measurements and has been so certified by the calibrating laboratory.

7.3.2.2 *Calibrated RBSS*

A calibrated RBSS is an RBSS that has been calibrated by comparing its photon emission rate to that of a certified RBSS.

7.3.2.3 *Certified-solution RBSS*

A certified-solution RBSS is a standard beaker conforming to 7.3.3 that contains a certified solution (see 7.3.2.5) as its radioactive filling material (see 7.3.4).

7.3.2.4 *Calibrated-solution RBSS*

A calibrated-solution RBSS is a standard beaker conforming to 7.3.3 that contains as its radioactive filling material (see 7.3.4) a solution that has been calibrated by comparing its photon emission rate at specified energies to that of a certified solution (see 7.3.2.5).

7.3.2.5 *Certified solution*

A certified solution is a liquid radioactive filling material (see 7.3.4) that has been calibrated by a laboratory recognized as a country's National Standardizing Laboratory for radioactivity measurements and has been so certified by the calibrating laboratory.

7.3.3 *The beaker*

Reentrant beakers are inverted well beakers. They are available in a variety of sizes for use in large-volume, low-level measurements. The beakers specified herein, Models 450 and 1000, are shown in Figure 7.3.1. Figure 7.3.2 shows a schematic of a typical sample-detector geometry. The Model 450 beaker is considered to be of 450 cm³ capacity and the Model 1000 of 1000 cm³ capacity. The actual capacities of the beakers are greater than this but, for the purposes of this standard, the beakers are to be filled to those amounts ± 2 cm³ (see 7.3.4). The beakers specified were selected because of:

- 1) high counting efficiency for the sample material used;
- 2) commercial availability at low cost;
- 3) common usage in many laboratories;
- 4) physical convenience.

7.3.4 *Radioactive filling material*

The beaker used for calibration of detectors with diameters of 76,5 mm or less shall be the Model 450 and for larger diameter detectors shall be the Model 1000. The 450 cm³

¹⁾ International Commission on Radiation Units and Measurements. *Certification of Standardized Radioactive Sources*. ICRU Report No. 12, September 15, 1968.

modèle 1000. Le récipient de 450 cm³ sera rempli avec 450 ± 2 cm³ d'un milieu support solide ou liquide contenant une matière radioactive uniformément répartie tandis que le récipient de 1000 cm³ sera rempli de 1000 ± 2 cm³. Le support solide est préférable pour l'emploi courant, car il constitue une source scellée sûre et chimiquement inerte. Une liste de radionucléides adaptés à l'utilisation dans une SNRE est donnée dans le tableau 7.3.1.

Le milieu support doit avoir un numéro atomique moyen Z de $4,0 \pm 0,7$ et une masse volumique moyenne de $1,15 \pm 0,02$ g.cm⁻³ pour les milieux solides et $1,06 \pm 0,01$ g.cm⁻³ pour les milieux liquides. La masse volumique du support utilisé devra être indiquée (voir 7.3.6) pour que des corrections d'atténuation puissent être effectuées. L'activité de la source devra être telle qu'elle n'exécède pas le taux de comptage admissible du système de détection. Dans certains systèmes, une déformation spectrale significative peut se manifester pour des taux de comptage aussi bas que quelques milliers par seconde.

7.3.5 La mesure

L'efficacité absolue d'absorption totale d'une SNRE (M) d'un ensemble détecteur à étalonner doit être déterminée en plaçant la SNRE sur le capot comme le montre la figure 7.3.2, en comptant pendant une durée utile t et en effectuant la mesure conformément à 6.3 (voir également 7.1.1).

M est défini par:

$$M = A/N_s \quad (10)$$

où:

A est le nombre d'événements provenant de la SNRE, enregistrés sous forme de coups dans le pic d'absorption totale et représentant l'énergie E , pendant la durée utile de comptage t

N_s est le nombre de photons gamma d'énergie E émis par la SNRE pendant la même durée utile t

Lorsque les efficacités des SNRE sont spécifiées, les énergies employées pour la détermination doivent être précisées. Les énergies gamma convenables et souvent utilisées sont parmi celles indiquées plus bas. Le photon de 1332 keV du ⁶⁰Co est le plus largement utilisé pour spécifier l'efficacité et la résolution. Pour les basses énergies, la raie préférable est de 88 keV du ¹⁰⁹Cd.

- 88,0 keV (¹⁰⁹Cd)
- 122,1 keV (⁵⁷Co)
- 661,6 keV (¹³⁷Cs)
- 1332,5 keV (⁶⁰Co)

Des sources multiples sont disponibles; elles incluent les énergies ci-dessus, plus des raies supplémentaires.

Si l'utilisateur désire étendre l'emploi de ces techniques pour tracer une courbe d'étalonnage détaillée en vue d'applications particulières du détecteur, il aura en général besoin de raies supplémentaires (voir tableau 7.3.1). La figure 7.3.3 donne quelques résultats typiques obtenus pour une SNRE étalonnée et deux détecteurs Ge(Li). Les deux détecteurs sont caractérisés par leurs efficacités relatives d'absorption totale telles que définies en 7.1.2. La figure 7.3.3 montre la variation d'efficacité absolue d'absorption totale E_a en fonction de l'énergie du rayonnement gamma pour les deux détecteurs Ge(Li) du tableau 7.3.2 utilisant la configuration d'une SNRE.

La figure 7.3.4 représente l'enregistrement linéaire d'un spectre observé en utilisant une SNRE et la figure 7.3.5 la représentation logarithmique du même spectre. La plupart des pics sont nettement repérables et directement mesurables. Une source d'erreur possible vient du fait que le pic d'échappement simple de le ⁸⁸Y est situé à 7 keV environ (à 1325 keV)

beaker shall be filled with $450 \text{ cm}^3 \pm 2 \text{ cm}^3$ of a solid or liquid carrier containing uniformly dispersed radioactive material whereas the 1000 cm^3 beaker shall be filled with $1000 \text{ cm}^3 \pm 2 \text{ cm}^3$. The solid carrier is preferable for general use because it constitutes a safe and chemically inert sealed source. Representative radionuclides for use in the RBSS are listed in Table 7.3.1.

The carrier shall have an effective atomic number Z of $4,0 \pm 0,7$ and a mean density of $1,15 \pm 0,02 \text{ g.cm}^{-3}$ for solid carriers, or $1,06 \pm 0,01 \text{ g.cm}^{-3}$ for liquid carriers. The density of the carrier used shall be stated (see 7.3.6) so that attenuation corrections may be made. The source activity should be such as not to exceed the count-rate capability of the detector system. In some systems, significant spectral distortion may occur at count-rates as low as a few thousand per second.

7.3.5 The measurement

The absolute full-energy peak efficiency of a RBSS (M) of a detector assembly being calibrated shall be determined with the RBSS placed over the end cap as in Figure 7.3.2, counted for a live time count interval t and measured according to 6.3 (see also 7.1.1).

M is defined as:

$$M = A/N_s \quad (10)$$

where:

A is the number of events from the RBSS registered as counts in the full-energy peak representing energy E during the live time count interval t

N_s is the number of gamma rays of energy E originating in the RBSS during the same live time interval t

When the RBSS efficiencies are specified, the energies used in the determination shall be stated. Convenient and frequently used gamma-ray energies include those listed below. The 1332 keV gamma ray of ^{60}Co has been the most widely used for specifying efficiency and resolution. The preferred line at low energies is the 88 keV gamma ray of ^{109}Cd .

88,0 keV (^{109}Cd)
122,1 keV (^{57}Co)
661,6 keV (^{137}Cs)
1332,5 keV (^{60}Co)

Mixed sources are available which include the above energies plus additional lines.

If the user wishes to extend the use of these techniques to establish a detailed calibration curve for specific applications of the detector, additional energy peaks will generally be required (see Table 7.3.1). Figure 7.3.3 shows typical results for a calibrated RBSS used with two Ge(Li) detectors. The two detectors are described by their relative full-energy efficiencies as in 7.1.2. Figure 7.3.3 shows the variation of the absolute full-energy peak efficiency E_a versus gamma-ray energy plotted for the two Ge(Li) detectors of Table 7.3.2 for the RBSS geometry.

Figure 7.3.4 shows a linear plot of the spectrum observed using the RBSS and Figure 7.3.5 shows the log plot of the spectrum of Figure 7.3.4. Most of the peaks are clearly observable and available for direct measurement. A possible source of error arises from the fact that the ^{88}Y single-escape peak is about 7 keV (at 1325 keV) from the 1332 keV

du pic de 1332 keV du ^{60}Co . La figure 7.3.6 montre une fraction dilatée du spectre de la figure 7.3.4 au voisinage de 1332 keV. On prendra soin de s'assurer que le comptage, provenant du pic d'échappement, ne soit pas attribué au pic gamma de 1332 keV.

Il convient également de noter que les photons γ de 1173 keV et 1332 keV du ^{60}Co sont en cascade prompte et peuvent donner lieu à un pic somme, entraînant une erreur pouvant atteindre 5%. Des facteurs de correction approximatifs peuvent être établis à partir de la connaissance du rapport pic/total du second gamma et de la corrélation angulaire gamma-gamma.

Une situation similaire existe pour tous les radionucléides émettant des gammas en cascade prompte.

7.3.6 Dossier de la SNRE

Un certificat doit accompagner chaque SNRE spécifiant si la SNRE est une SNRE homologuée (voir 7.3.2.1) ou une SNRE étalonnée (7.3.2.2). Dans le cas de la solution SNRE homologuée (7.3.2.3) et de la solution SNRE étalonnée (7.3.2.4), le certificat ne doit concerner que la solution. Dans tous les cas, le certificat doit contenir les informations suivantes:

- 1) Radionucléides employés et étalonnés, en même temps que:
 - a) les énergies des photons et la demi-vie du radionucléide;
 - b) les dates correspondant aux taux indiqués d'émission des photons;
 - c) l'incertitude sur les taux d'émission indiqués. Dans le cas d'une SNRE étalonnée, les erreurs de la SNRE homologuée qui a servi à l'étalonnage et les erreurs de l'étalonnage proprement dit devront être indiquées séparément. Dans le cas d'une solution SNRE étalonnée, les erreurs de la solution homologuée qui a servi à son étalonnage et les erreurs de l'étalonnage proprement dit devront être indiquées séparément;
 - d) la masse volumique à 2% près du milieu support.
- 2) Dates d'étalonnage.

Dans le cas d'une SNRE étalonnée, la date de l'étalonnage par rapport à la SNRE homologuée et la date d'étalonnage de la SNRE homologuée devront être données. Dans le cas d'une solution SNRE étalonnée, la date de l'étalonnage par rapport à la solution homologuée et la date de l'étalonnage de la solution homologuée devront être données.
- 3) Historique complet de la SNRE étalonnée ou de la solution SNRE étalonnée y compris l'identification de la SNRE homologuée ou de la solution homologuée qui ont servi à l'étalonnage.
- 4) Laboratoire ou organisme d'étalonnage.

8. Indice d'épaisseur de fenêtre

Des indications sur l'épaisseur de la «fenêtre» (zone morte du détecteur, montage dans le cryostat, capot, etc.) peuvent être obtenues en mesurant et en établissant un indice d'épaisseur de fenêtre défini comme le rapport des surfaces des pics correspondant aux quatre raies à 31 keV, 54 keV, 80 keV et 161 keV du ^{133}Ba . Le rapport des surfaces des pics à 22 keV et 88 keV du ^{109}Cd peut également être utilisé. Il faut prendre soin de s'assurer que l'auto-absorption de la source et de son enveloppe sont négligeables.

peak of ^{60}Co . Figure 7.3.6 shows an expanded portion of the spectrum around 1332 keV for the data of Figure 7.3.4. Care should be exercised to assure that counts from the escape peak are not attributed to the peak due to the 1332 keV gamma ray.

It should also be noted that the 1173 keV and 1332 keV gamma rays of ^{60}Co are in prompt cascade and can therefore sum, resulting in errors of as much as 5%. Approximate correction factors may be determined from a knowledge of the peak-to-total ratios for the secondary gamma and the gamma-gamma angular correlation.

A similar situation exists for all radionuclides emitting gamma rays in prompt cascade.

7.3.6 RBSS documentation

A certificate shall be provided with each RBSS stating whether the RBSS is a certified RBSS (see 7.3.2.1) or a calibrated RBSS (7.3.2.2). In the case of the certified-solution RBSS (7.3.2.3) and the calibrated-solution RBSS (7.3.2.4), the certificate shall be for the solution alone. In any case, the certificate shall contain the following information:

- 1) Radionuclides used and calibrated, together with:
 - a) the photon energies and radionuclide half lives;
 - b) dates corresponding to the stated photon emission rates;
 - c) uncertainties in the stated photon emission rates. In the case of a calibrated RBSS, the errors for the certified RBSS against which the calibrated RBSS has been calibrated and the errors in the comparison shall be given separately. In the case of a calibrated-solution RBSS, the errors for the certified solution against which the radioactive filling material solution has been calibrated and the errors in the comparison shall be given separately;
 - d) density of the carrier to within 2%.
- 2) Calibration dates.

In the case of a calibrated RBSS, the date of calibration against the certified RBSS and the date of calibration of the certified RBSS shall be given. In the case of a calibrated-solution RBSS, the date of calibration of the radioactive filling material solution against the certified solution and the date of calibration of the certified solution shall be given.
- 3) Full genealogy in the case of a calibrated RBSS or a calibrated-solution RBSS including identification of the certified RBSS or certified solution against which it has been calibrated.
- 4) Calibrating laboratory or organization.

8. Window thickness index

Information on the thickness of the "window" (detector dead-layer, cryostat mount and endcap, etc.) can be obtained by measuring and reporting a window thickness index as the ratio of peak areas for the four energies 31 keV, 54 keV, 80 keV and 161 keV emitted by ^{133}Ba . The ratio of peak areas for the 22 keV and 88 keV energies of ^{109}Cd may also be used. Care shall be taken to ensure that self-absorption in the source and its housing are negligible.

Un indice d'épaisseur de fenêtre basé sur la fluorescence X est utilisé pour mesurer les fenêtres minces. Un tel indice est décrit dans la CEI 759. L'indice d'épaisseur est basé sur la fluorescence X d'un verre normalisé tel que décrit dans la CEI 759.

Ce verre contient des oxydes de Si, Ba, Ca, Li, Mg, Zn et B. Lorsqu'il est excité par une source de ^{55}Fe , il émet de nombreuses raies X dans le domaine de 1 keV à 5 keV. Les rapports des surfaces de ces pics à celle du pic de diffusion cohérente de 5,9 keV de la source sont utilisés pour définir un indice d'épaisseur de fenêtre. On se reportera à la CEI 759 pour de plus amples détails.

9. Résolution temporelle

Une méthode utile pour évaluer les possibilités de résolution en temps d'un détecteur germanium est basée sur un montage à coïncidence qui détecte les deux rayonnements gamma d'annihilation de 511 keV d'une source de ^{22}Na . Un signal «départ» fourni par le détecteur germanium à l'essai et un signal retardé «arrêt» fourni par un détecteur très rapide sont nécessaires. La distribution des intervalles de temps qui s'écoulent entre les signaux «départ» et «arrêt», mesurés par un convertisseur temps-amplitude, fournit la résolution en temps du système. Des informations valables sur la résolution en temps du détecteur germanium sont donc obtenues, si le second détecteur et les circuits électroniques du montage sont nettement plus rapides que le détecteur germanium. Un tel montage est décrit en 9.1.

9.1 Dispositif de mesure

La figure 9.1.1 montre un schéma type pour la mesure de la résolution en temps d'un détecteur germanium. La voie «arrêt», référence de temps, est constituée par un scintillateur plastique rapide associé à un photomultiplicateur relativement rapide (temps de montée total ≤ 5 ns). Le signal issu du photomultiplicateur est traité par un discriminateur à fraction constante.

Le signal de sortie du discriminateur est retardé avant d'entrer dans la voie «arrêt» d'un convertisseur temps-amplitude. Plusieurs retards calibrés sont nécessaires pour cette fonction en vue de permettre un étalonnage de l'axe des temps.

Le signal issu du détecteur germanium est divisé suivant deux voies à la sortie du préamplificateur. Une de ces voies conduit à un amplificateur à mise en forme rapide ayant une constante de temps de différentiation approximativement égale au temps de montée le plus court observable à la sortie du préamplificateur. Le signal différencié est alors dirigé vers un discriminateur à fraction constante. La fraction de l'amplitude de l'impulsion utilisée dans ce discriminateur devra être égale à 20% et le retard de mise en forme, à la moitié du temps de montée du signal le plus rapide observé à la sortie du préamplificateur. Cette combinaison de paramètres minimise les incertitudes de mesure de temps dues aux variations du temps de montée et de l'amplitude des impulsions. Les signaux de mesure de temps, non mis en forme, sont représentés à la figure 9.1.2.

L'autre voie conduit à un amplificateur et à un analyseur de temps monocanal qui est utilisé pour déclencher l'entrée de l'analyseur multicanal (figure 9.1.1). Le ^{22}Na est utilisé comme source de photons d'annihilation et l'analyseur monocanal devra être réglé sur le pic gamma de 511 keV avec une largeur de fenêtre de 10%.

9.2 Résolution temporelle

On obtient un spectre de coïncidence gamma en utilisant un montage tel que celui représenté dans la figure 9.1.1. Un spectre type est représenté dans la figure 9.2.1. Le

A window thickness index based on X-ray fluorescence is used for measuring thin windows. Such an index is described in IEC 759. The thickness index is based on the X-ray fluorescence of a standard glass as described in IEC 759.

This glass contains oxides of Si, Ba, Ca, Li, Mg, Zn and B. When fluoresced with a ^{55}Fe source, it emits numerous X-ray lines in the region from 1 keV to 5 keV. Ratios of these lines to the coherently backscattered 5,9 keV line from the source are used to define a window thickness index. Refer to IEC 759 for additional details.

9. Timing

A useful measuring method for evaluating the timing capabilities of a germanium detector is based on a coincidence system detecting the two 511 keV gamma-rays of a ^{22}Na annihilation source. A “start” signal from the germanium detector under test and a delayed “stop” signal obtained from a high-speed detector are required. The distribution of the time difference between “start” and “stop”, measured with a time-to-amplitude converter, gives the timing resolution of the system. Therefore, significant information on the timing resolution of the germanium detector is obtained, if the second detector and the electronics of the system are faster than the germanium detector. Such a system is described in 9.1.

9.1 *Measuring system*

Figure 9.1.1 shows a typical system for measuring the time resolution of a germanium detector. The “stop” or time reference channel consists of a fast plastic scintillator mounted on a relatively fast photomultiplier (total rise time ≤ 5 ns). The signal from the photomultiplier is processed by a constant-fraction discriminator.

The output of the discriminator is delayed before entering the “stop” side of a time-to-amplitude converter. Several calibrated delays are required for this function in order to provide a calibration of the time axis.

The germanium detector signal is split in two at the output of the preamplifier. The signal from the preamplifier is routed to a fast shaping amplifier with a differentiation time constant approximately equal to the fastest rise time observable at the preamplifier output. The differentiated signal is then routed to a constant-fraction timing discriminator. The fraction of the pulse amplitude used in this timing discriminator should be 20% and the shaping delay should be one-half of the rise time of the fastest signal observed at the output of the preamplifier. This combination of parameters helps minimize the timing uncertainties due to rise time and pulse height variations. The unshaped timing measurement signals are shown in Figure 9.1.2.

The signal from the preamplifier is also routed to an amplifier and timing single-channel analyzer which is used to gate the multichannel analyzer (Figure 9.1.1). ^{22}Na is used as a source of coincident annihilation quanta and the single channel analyzer should be centred on the 511 keV photon peak with 10% window width.

9.2 *Timing resolution*

Using a system such as shown in Figure 9.1.1, a gamma-ray coincidence spectrum is obtained. A typical spectrum is shown in Figure 9.2.1. The number of channels between

nombre de canaux séparant les points situés à mi-hauteur ne devra pas être inférieur à 6 et le nombre total de coups à l'intérieur de la LTMH devra être d'au moins 4000. Si les données sont traitées par un ordinateur, le minimum de 4000 coups ne s'applique pas pourvu que le ordinateur détermine la LTMH à $\pm 5\%$ (niveau de confiance 90%). Après étalonnage de l'axe des temps à l'aide d'au moins deux retards calibrés, la LTMH et la LT 0,1 M seront mesurées en nanosecondes. Les paramètres suivants doivent être spécifiés pour les essais temporels en vue d'assurer la reproductibilité:

- a) tension de polarisation du détecteur germanium;
- b) constante de temps de différentiation de l'amplificateur à mise en forme rapide;
- c) retard de la mise en forme.

Les mesures temporelles dépendent du système électronique dans son ensemble et de ses réglages. Ces réglages sont critiques et difficiles. De ce fait, les résultats de mesures temporelles ne devront pas être considérés uniquement comme des caractéristiques du détecteur.

10. Possibilités de subir des cycles de température

10.1 *Détecteurs cyclables*

Les détecteurs cyclables sont particulièrement utiles pour les systèmes susceptibles de subir un réchauffement, tels que les systèmes portatifs et les systèmes utilisés dans des endroits où une alimentation continue en azote liquide n'est pas assurée ou n'est pas commode.

Un détecteur cyclable reste sous vide en tant que partie intégrante du système cryostatique. Pour désigner un détecteur comme cyclable, un constructeur doit garantir que le détecteur répondra aux spécifications de performances, pendant toute la période de garantie, pour un nombre illimité de cycles entre la température ordinaire et la température de l'azote liquide et pour un stockage sans limitation de temps à la température ordinaire.

10.2 *Détecteurs régénérables*

Les détecteurs régénérables sont des détecteurs cyclables (voir 10.1) qui peuvent être soumis à une température spécifiée pendant un temps donné de façon à réduire les effets des dommages créés par les rayonnements. Le cryostat, le détecteur et le montage doivent pouvoir s'adapter à la procédure de recuit (par exemple 120 °C pendant 24 h). Il devra être spécifié qu'en l'absence de dégâts par rayonnement, le détecteur devra pouvoir subir la procédure de recuit sans détérioration de ses caractéristiques au-delà de limites spécifiées.

Pendant la procédure de recuit, il peut être nécessaire de pomper le cryostat avec un système de pompage à vide très propre.

Un recuit adéquat peut restaurer beaucoup de détecteurs en germanium de haute pureté approximativement dans leur état initial avant le dommage. Les détecteurs coaxiaux à électrode inversée ont moins tendance à présenter de dommage résiduel et sont donc plus faciles à restaurer dans leur état initial que les détecteurs coaxiaux conventionnels.

the half-maximum points shall be at least 6, and the total number of counts contained within the FWHM shall be at least 4000. If computer fitting of the data is used, the 4000 minimum counts need not apply provided the FWHM is calculated by computer to within $\pm 5\%$ (90% confidence interval). After calibrating the time-axis with at least two calibrated delays, the FWHM and the FW 0,1 M are measured in units of nanoseconds. The following parameters shall be stated for the timing test in order to assure reproducibility:

- a) germanium detector bias voltage;
- b) differentiation time of the fast shaping amplifier;
- c) shaping delay time.

Timing measurements are dependent on the entire electronics system and its adjustment. These adjustments are critical and difficult. Therefore the results of timing measurements should not be considered solely as characteristics of the detector.

10. Temperature cyclability

10.1 Cyclable detectors

Cyclable detectors are especially useful for systems which are expected to undergo warm-ups, such as portable systems, and those to be used where a continuous supply of liquid nitrogen is neither assured nor convenient.

A cyclable detector remains under vacuum as an integral part of the cryostat system. To designate a detector as cyclable, a manufacturer shall guarantee that the detector shall meet its performance specifications throughout the warranty period under conditions of unlimited cycling between room temperature and liquid nitrogen temperature and of indefinite room temperature storage.

10.2 Annealable detectors

Annealable detectors are cyclable detectors (see 10.1) which can be subjected to a specified temperature for a given time to reduce the effects of radiation damage. The cryostat, detector and mount shall be capable of accommodating the annealing schedule (such as 120 °C for 24 h). It should be specified that in the absence of radiation damage, the detector will be able to tolerate this annealing schedule without degrading its performance beyond specified limits.

During the annealing procedure, it may be necessary to pump the cryostat with an extremely clean vacuum pumping system.

Proper annealing can restore many radiation-damaged high-purity germanium detectors to their approximate condition prior to damage. Reverse-electrode coaxial detectors are less sensitive to small amounts of residual damage and therefore are easier to restore to their original condition than are conventional-electrode coaxial detectors.

11. Détecteurs germanium à bas bruit de fond

La mesure de faibles niveaux de radioactivité implique des procédures d'essais de haute sensibilité pour identifier les coups parasites d'origine autre que les atomes radioactifs auxquels on s'intéresse. En général, il n'est pas possible de donner des recommandations simples et explicites sur des méthodes de mesures applicables en toutes circonstances, de même qu'il n'est pas possible d'établir une définition chiffrée d'un détecteur germanium à bas bruit de fond, dans un contexte général.

La composante majeure du bruit de fond radioactif d'un détecteur de rayonnement provient de la réponse à des sources étrangères dues à l'environnement du détecteur tels que les rayons cosmiques et la contamination radioactive présente dans les matériaux de construction de la salle de mesure, du blindage et du détecteur. L'autre composante du bruit de fond est provoquée par l'altération du bruit de fond ambiant par des échantillons inactifs ou d'autres matériaux étrangers situés à proximité du détecteur; cela se traduit par une augmentation du bruit de fond due à des rayonnements diffusés vers le détecteur ou au contraire par une réduction du bruit de fond due à un blindage supplémentaire.

Les traces d'éléments radioactifs présents dans la matière même de l'ensemble de détection sont directement liés à l'abondance naturelle des radionucléides présents dans chaque matériau que comporte l'assemblage du détecteur. Le tableau 11.1 énumère les matériaux traditionnels utilisés pour la construction du système de détection. Les radionucléides communément présents à l'état de contaminants et les énergies des raies gamma correspondantes sont indiqués dans le tableau 11.2. La contribution de ces radionucléides contaminants au bruit de fond du détecteur est fonction de l'activité spécifique de chaque radionucléide, du type d'émission radioactive, de leurs énergies et intensités, et de leur proximité du détecteur. Cependant, il convient de noter que les nucléides et leurs descendants ne sont pas nécessairement en équilibre puisque les traitements et les purifications affectent différemment les constituants des matières premières et peuvent résulter en une séparation des radionucléides parents et descendants.

Les détecteurs germanium à faible bruit de fond sont construits à partir de matériaux sélectionnés dont la concentration en radionucléides est plus faible que celles des matériaux utilisés dans les détecteurs germanium courants. On se sert de matériaux connus pour avoir généralement une contamination radioactive plus faible et des échantillons sont contrôlés pour déterminer leur contamination radioactive. Seuls les matériaux présentant des niveaux suffisamment faibles de contamination sont, par la suite, utilisés pour la réalisation des cryostats, des montages de détecteurs et d'autres composants des détecteurs à faible bruit de fond. Cela constitue un important problème de contrôle de matériaux, l'approvisionnement et la gestion des stocks d'un matériau nécessitant un contrôle de qualité extensif au cours des essais de contamination, de l'usinage et de la fabrication ainsi que la séparation ultérieure des autres stocks de matériaux.

Les exigences spécifiques pour chaque détecteur à faible bruit dépendent de son application. Il ne ressort pas du domaine de la présente norme de définir des méthodes ou une instrumentation pour des problèmes spécifiques de mesures à faible niveau, ou de recommander un blindage et une conception de détecteur qui donnerait le plus faible bruit de fond et qui serait d'utilisation générale, en raison des relations complexes, pour un détecteur d'un type, d'un volume et d'une orientation donnés, entre la composition du blindage, le volume environnant et la situation spatiotemporelle.

11. Low background germanium detectors

The measurement of low-level radioactivity involves assay procedures of high sensitivity in order to differentiate the occurrence of extraneous counts having an origin other than the radioactive atoms of interest. In general, it is not possible to give simple, explicit recommendations on methods of measurement applicable for all circumstances, nor can a numerical definition of a low-background germanium detector be usefully stated for an unspecified context.

The major component of the background count of radiation detectors is comprised of responses to extraneous sources of environmental radiation such as cosmic radiation and the radioactive contamination present in the construction materials used in building the counting-room facility, shield and the detector. The other component of the background is due to the alteration of the ambient background flux by proximity to the detector of a blank sample or other extraneous materials; this may result in an increased background by scattering radiation into the detector, or a decreased background by acting as an additional shield material.

The traces of radioactive elements present in the construction material of the detector itself are related to the natural percent abundance of the radionuclides present in each material that comprises the detector assembly. Table 11.1 lists typical detector system construction materials. Radionuclides commonly present as contaminants and corresponding gamma-ray energies are listed in Table 11.2. The contribution of these contaminating radionuclides to the background of the detector is related to the specific activity of each radionuclide, the types of radioactive emissions, their energies and intensities and their proximity to the detector. However, it should be noted that the parent nuclides and their daughter products will not necessarily be in equilibrium since the processing and refinements of the constituents of raw materials are treated differently and may result in separation of the radionuclides.

Low-background germanium detectors are typically constructed from selected materials whose radionuclide concentrations are lower than those used in standard germanium detector assemblies. Materials known to be generally lower in radioactive contamination are acquired and samples are assayed for contaminating radionuclides. Only materials having suitably low levels of contamination are subsequently used to make cryostats, detector mounts and other components for low-background detectors. This presents a large materials control problem, whereby material procurement and inventories are subjected to extensive quality control on assays, machining, fabrication and subsequent isolation from other inventories.

The specific requirements for any low background detector depend upon the application. It is beyond the scope of this standard to define procedural methods or instrumentation for specific low-level assay problems or to recommend a shield and detector design that would give the lowest background and be generally applicable, taking into account the complex interrelationships among the shield composition, volume and spatiotemporal location, relative to a given detector type, volume and orientation.

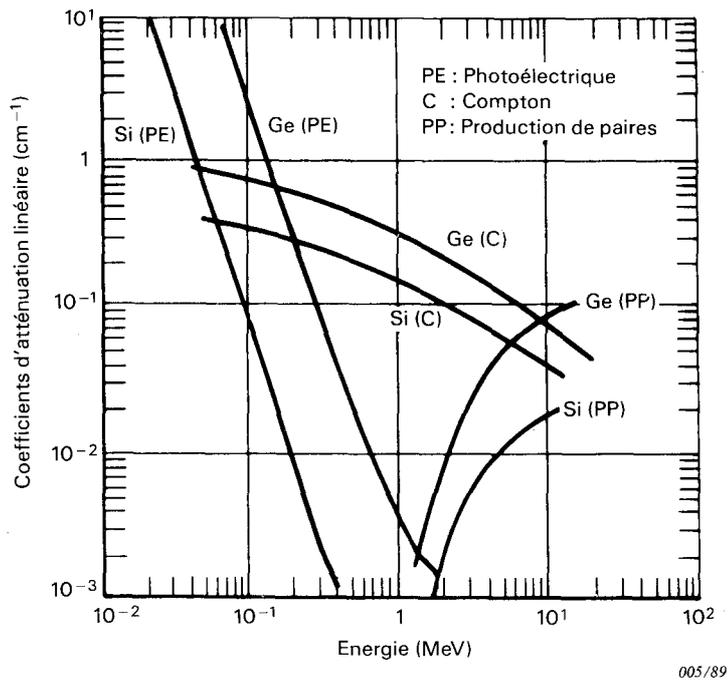


Fig. 4.1.1 — Coefficients d'atténuation linéaire en fonction de l'énergie gamma pour le Si et le Ge.

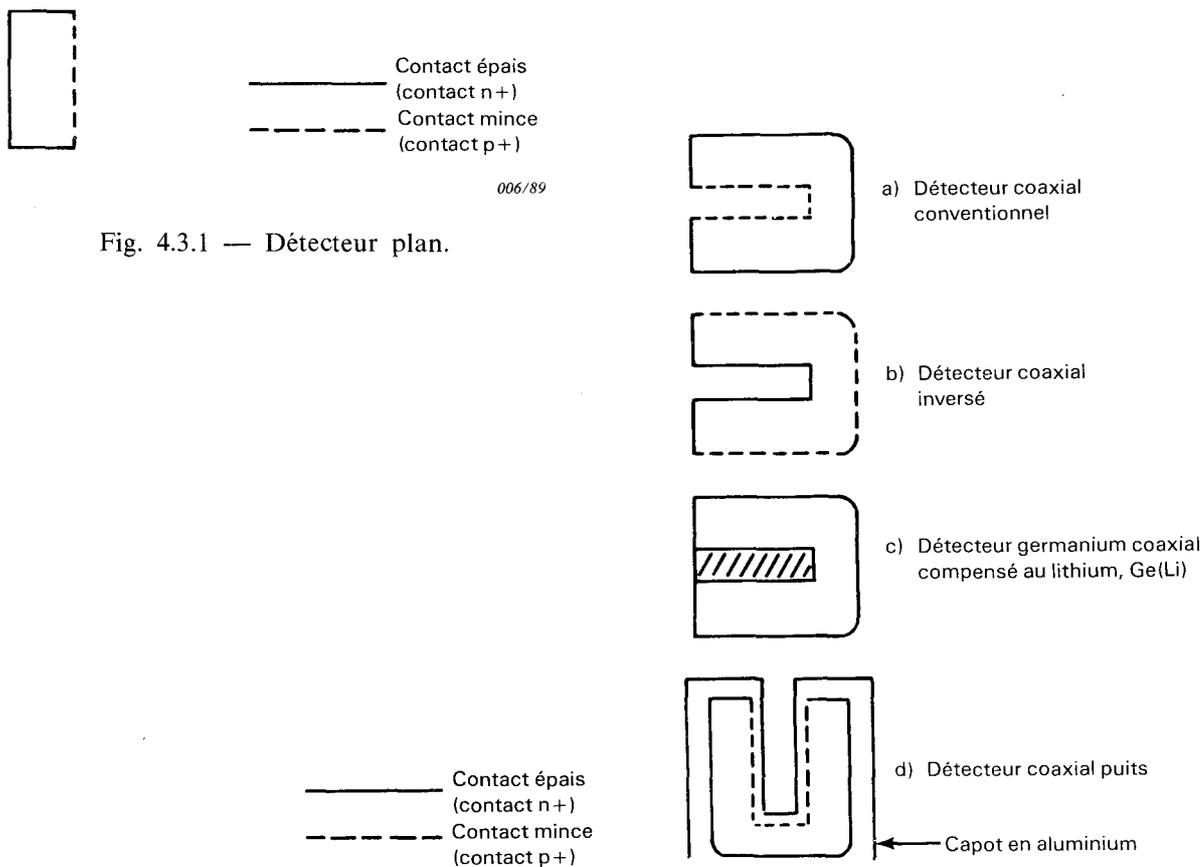


Fig. 4.3.2 — Types de détecteurs germanium coaxiaux.

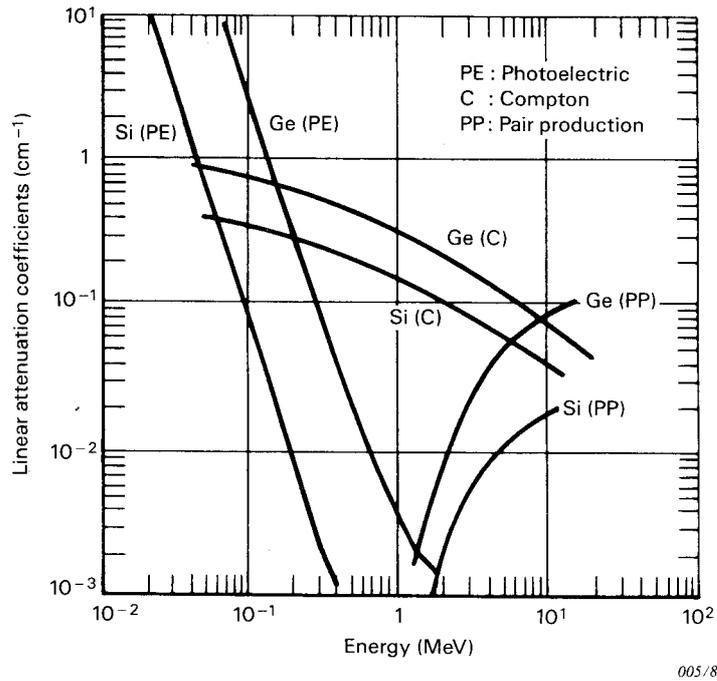


Fig. 4.1.1 — Linear attenuation coefficients versus gamma-ray energy for Si and Ge.

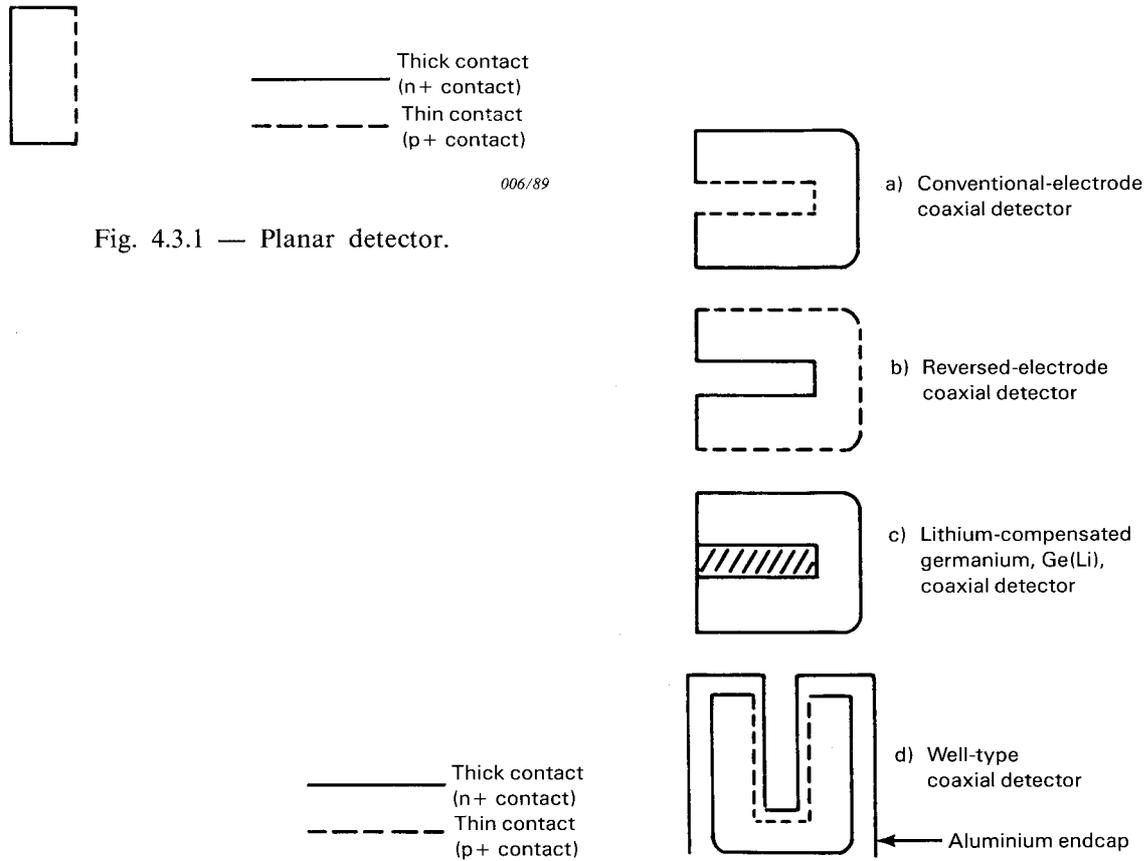


Fig. 4.3.2 — Coaxial germanium detector types.

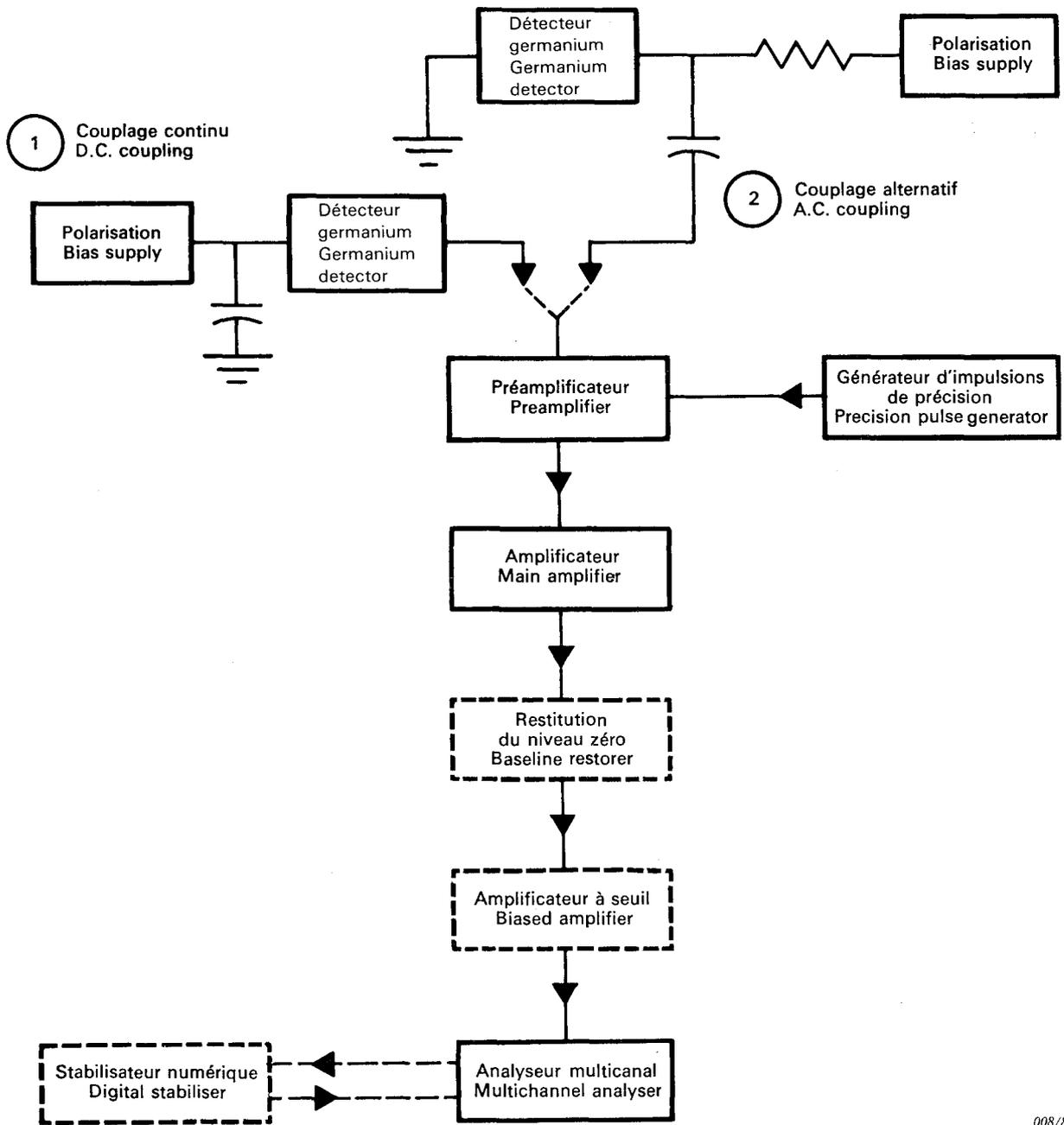
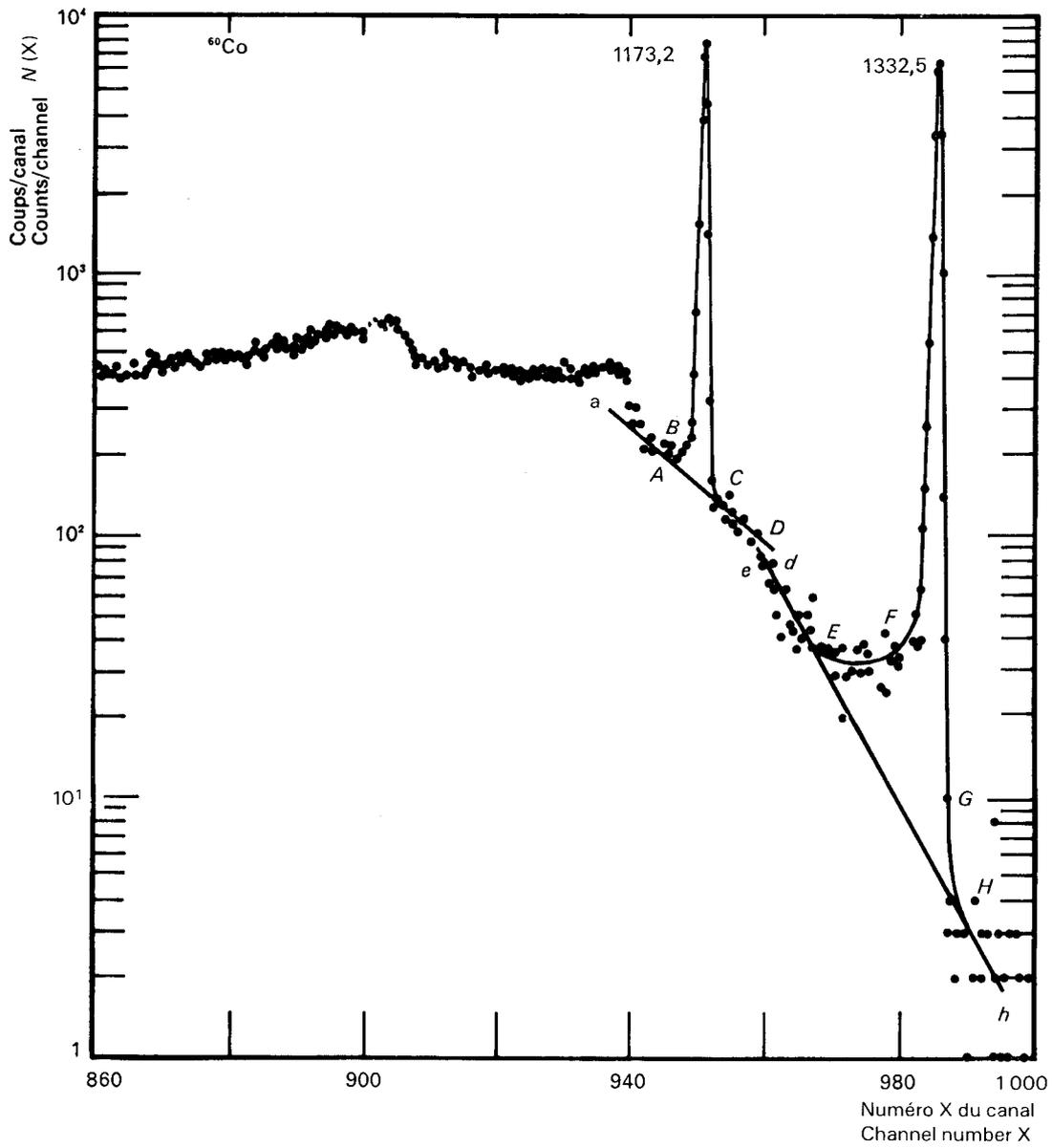


Fig. 6.2.1 — Schéma fonctionnel d'un spectromètre gamma à détecteur germanium. Deux possibilités de couplage du détecteur à l'entrée du préamplificateur sont indiquées.

Block diagram of typical germanium gamma-ray spectrometer system. Two alternative modes of coupling the detector to the input of the preamplifier are shown.



009/89

Fig. 6.3.1 — Spectre gamma du ^{60}Co montrant une approximation linéaire du bruit de fond.
 ^{60}Co gamma-ray spectrum showing straight line background approximations.

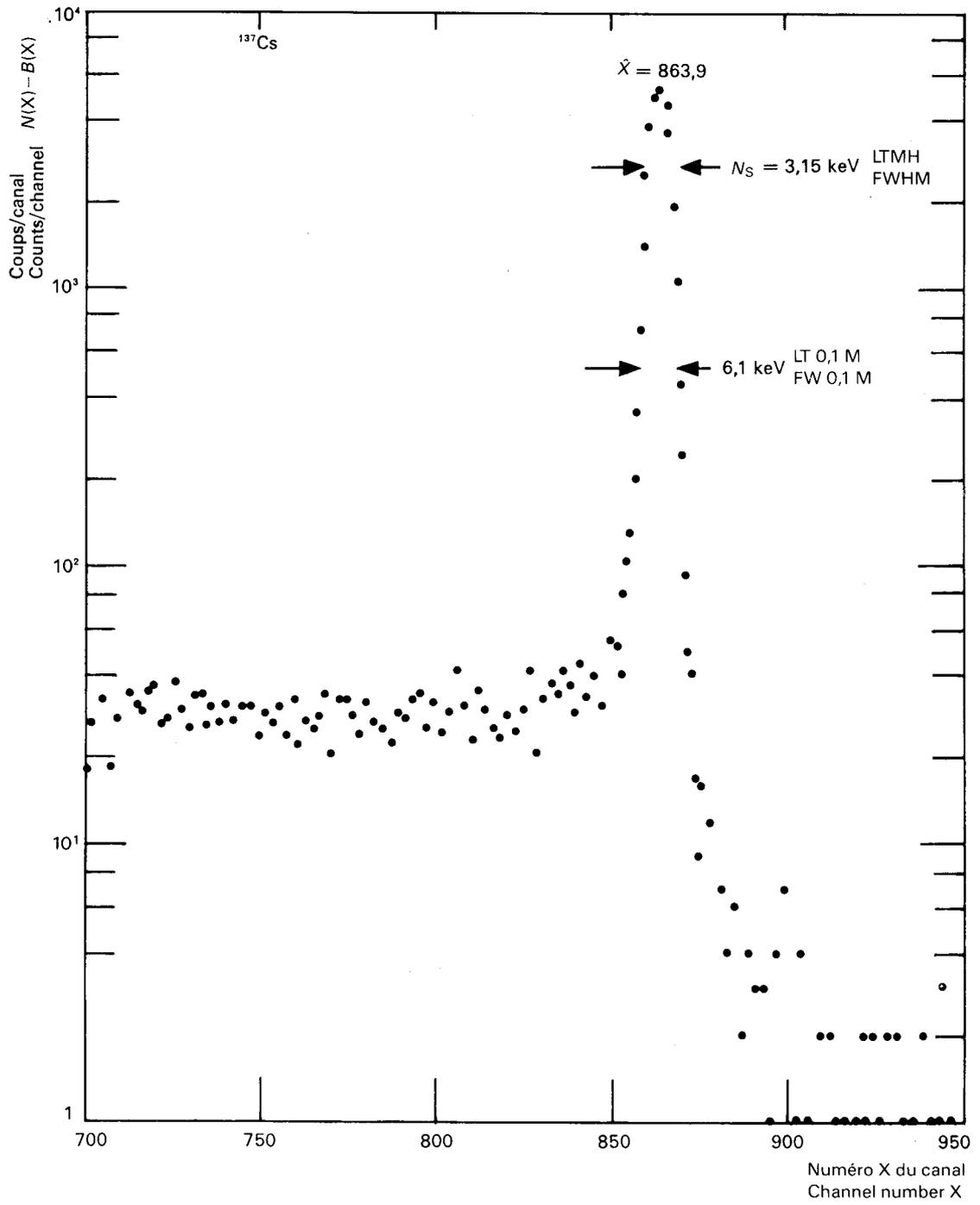


Fig. 6.4.1 — Spectre gamma du ¹³⁷Cs.
¹³⁷Cs gamma-ray spectrum.

010 89

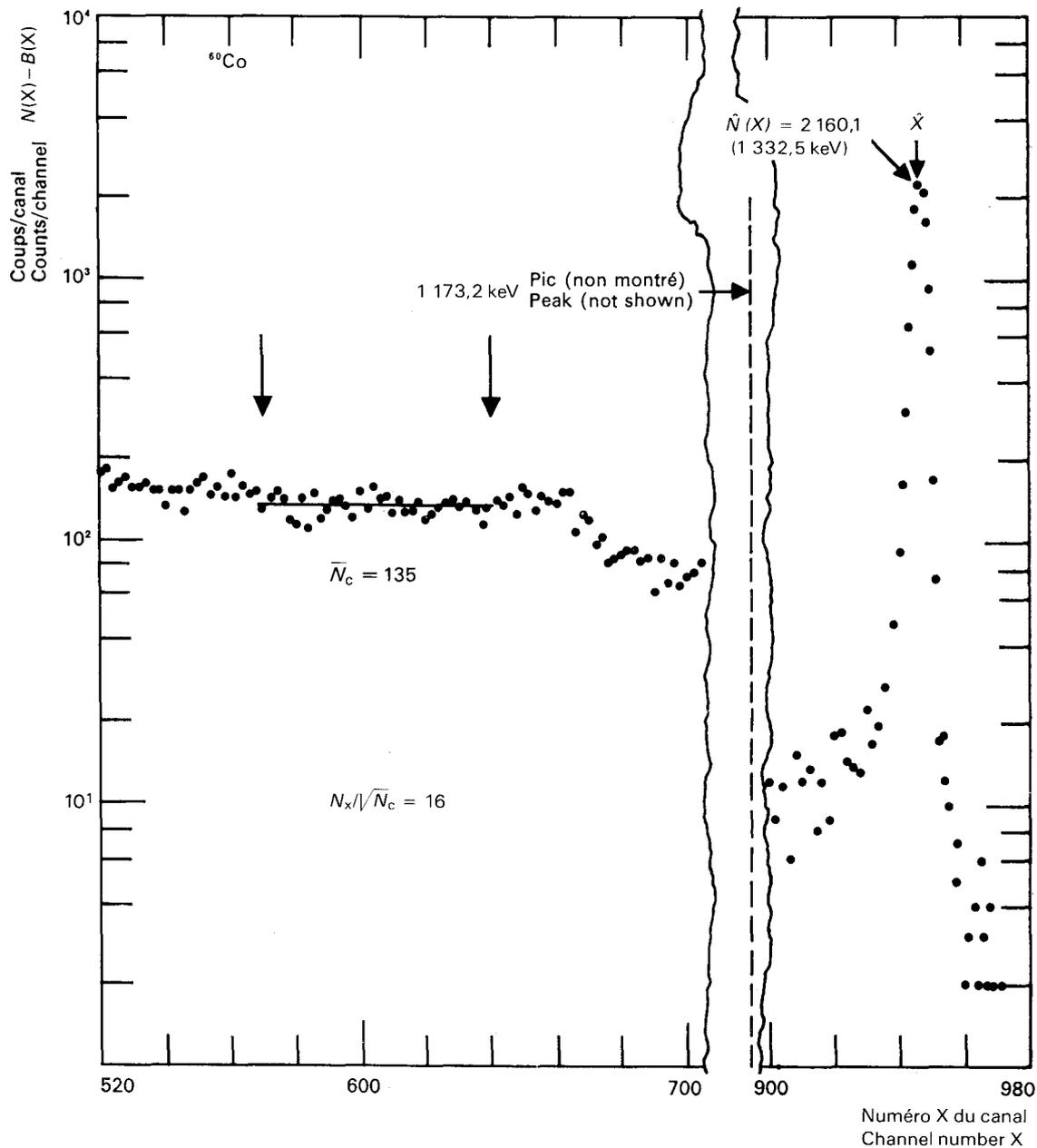
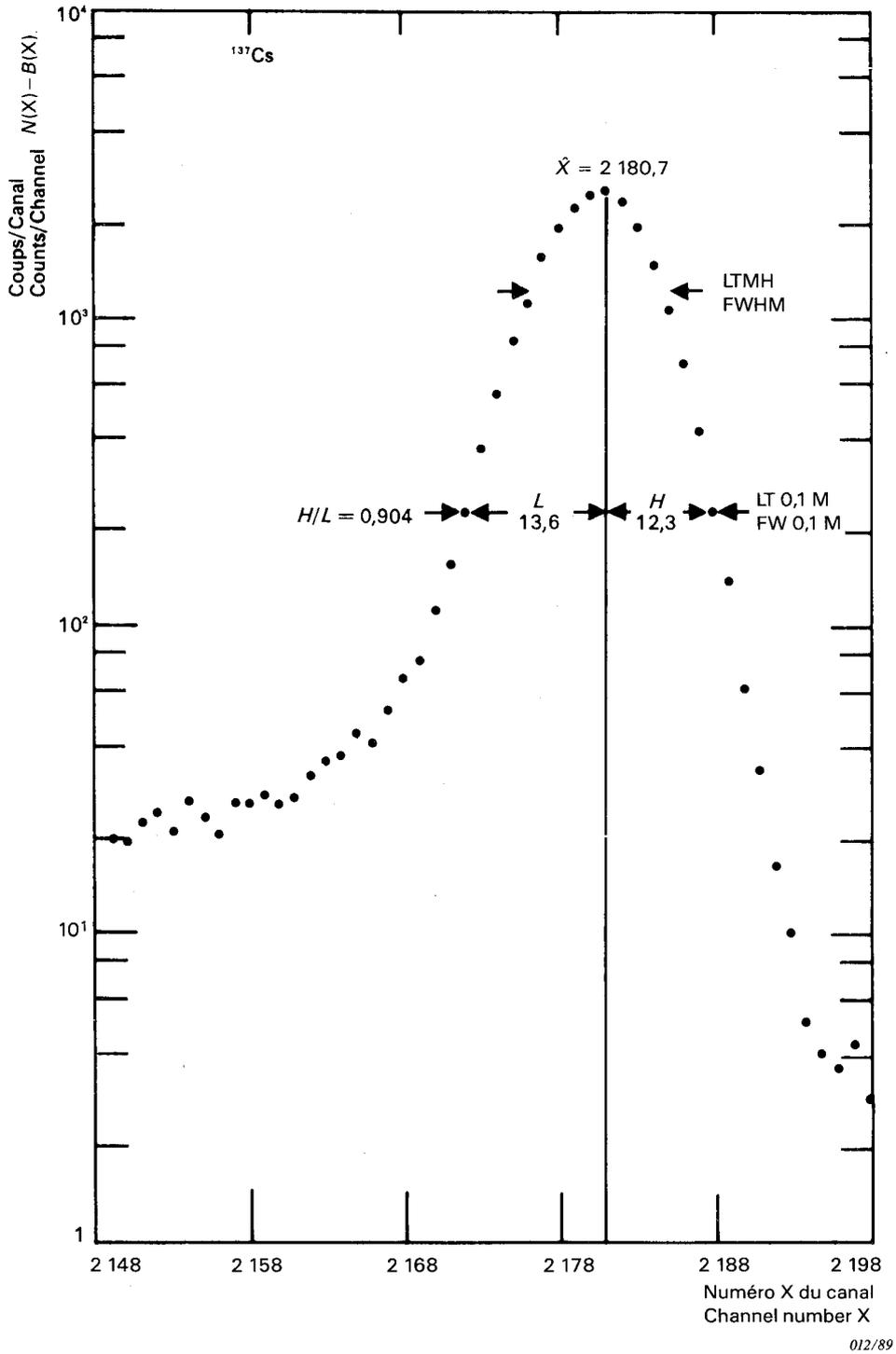
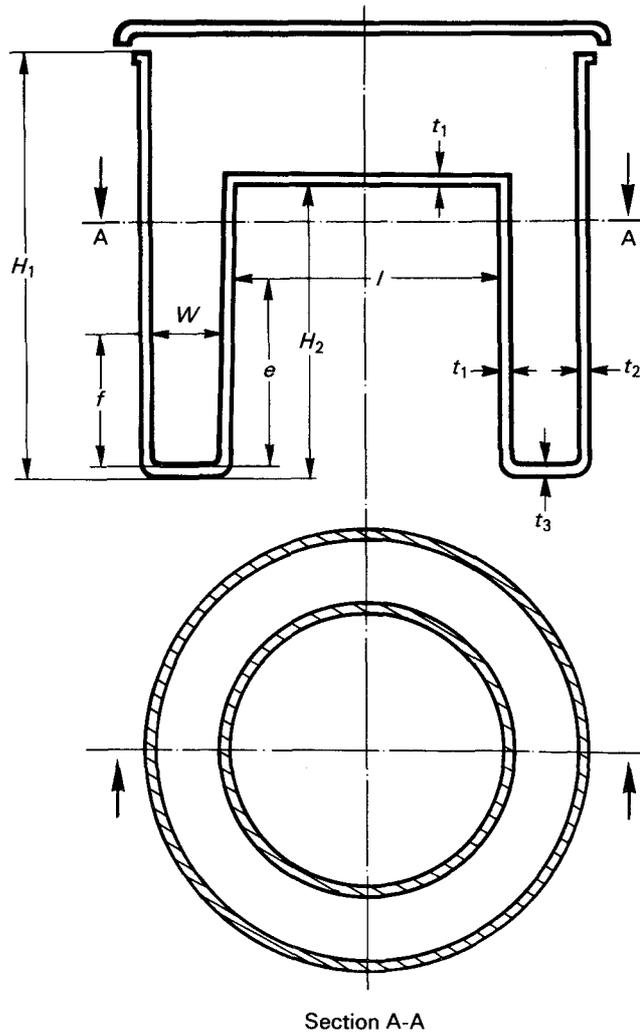


Fig. 6.6.1 — Spectre gamma du ^{60}Co montrant la détermination du rapport pic-Compton.
 ^{60}Co gamma-ray spectrum showing determination of peak-to-Compton ratio.



LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY. SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Fig. 6.9.1 — Pic d'absorption totale montrant la méthode de calcul du rapport d'asymétrie H/L .
Gamma-ray full energy peak showing method of calculating peak asymmetry ratio H/L .



Section A-A

139/81

Modèle/Model 450

Modèle/Model 1000

	mm	pouces (ref.)/inches (ref.)		mm	pouces/inches
H_1	$104,1 \pm 13$	$4,10 \pm 0,05$	H_1	$150,0 \pm 1,3$	$5,91 \pm 0,05$
H_2	$68,33 \pm 0,15$	$2,690 \pm 0,006$	H_2	$100,00 \pm 0,15$	$3,937 \pm 0,006$
I	$[77,40 - 0,008 e]$	$[3,048 - 0,008 e]$	I	$[120,00 - 0,008 e]$	$[4,724 - 0,008 e]$
	$\pm 0,10$ moyenne average	$\pm 0,004$ moyenne average		$\pm 0,1$ moyenne average	$\pm 0,004$ moyenne average
	$\pm 0,25$ max.	$\pm 0,010$ max.		$\pm 0,25$ max.	$\pm 0,010$ max.
W	$[14,83 + 0,008 f]$	$[0,584 + 0,008 f]$			
	$\pm 0,10$ moyenne average	$\pm 0,004$ moyenne average			
	$\pm 0,25$ max.	$\pm 0,010$ max.			
t_1	$1,90 \pm 0,1$	$0,075 \pm 0,004$			
t_2	$2,00 \pm 0,25$	$0,079 \pm 0,010$			
t_3	$3,60 \pm 0,15$	$0,142 \pm 0,006$			

Toutes les autres dimensions sont les mêmes que celles du modèle 450
All other dimensions same as for Model 450

Matériau: plastique de densité $1,1 \pm 0,1$
Material: plastic of density

Fig. 7.3.1 — Récipients enveloppants normalisés.
Standard re-entrant beakers.

LICENSED TO MECON Limited, - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

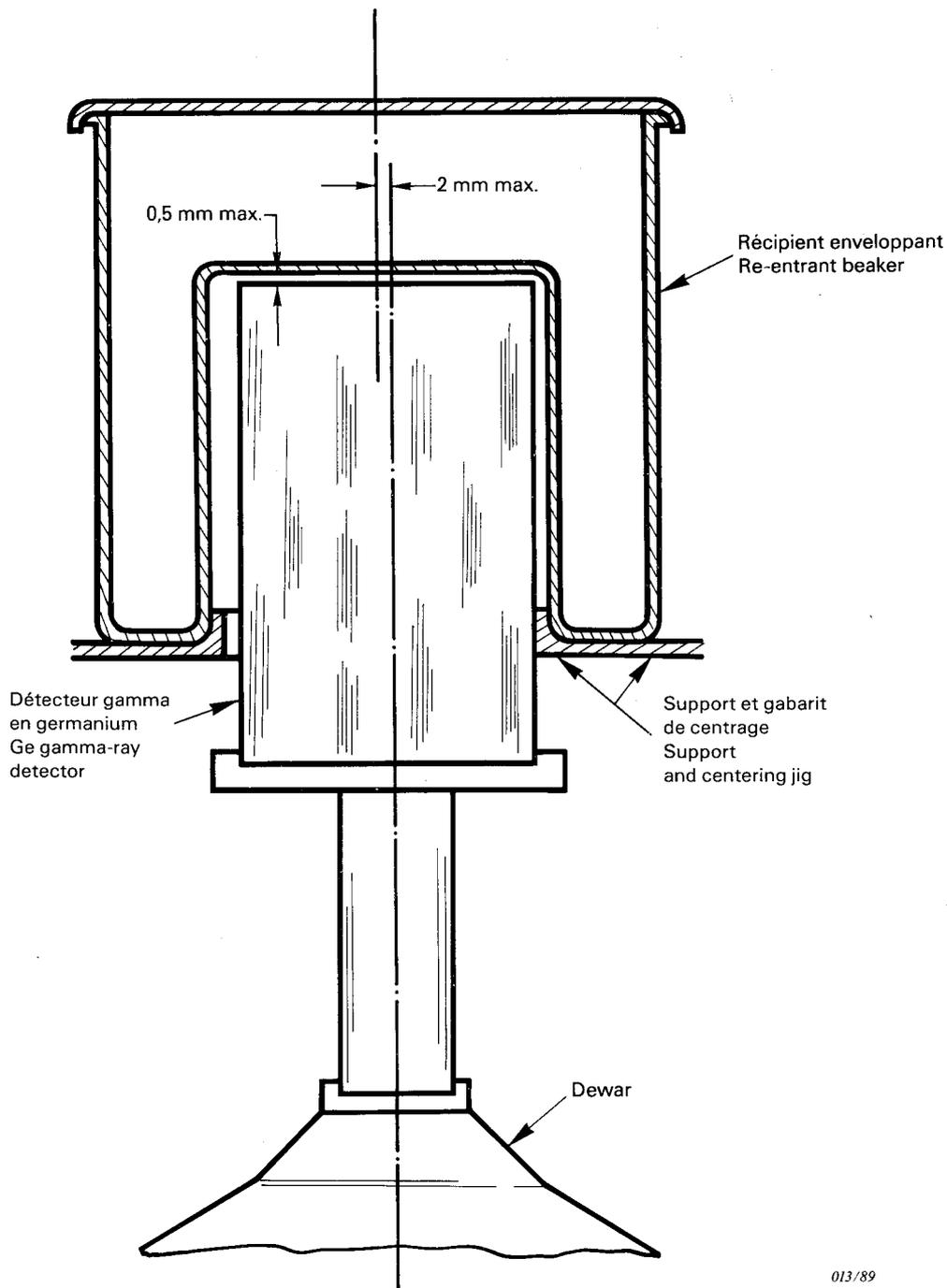
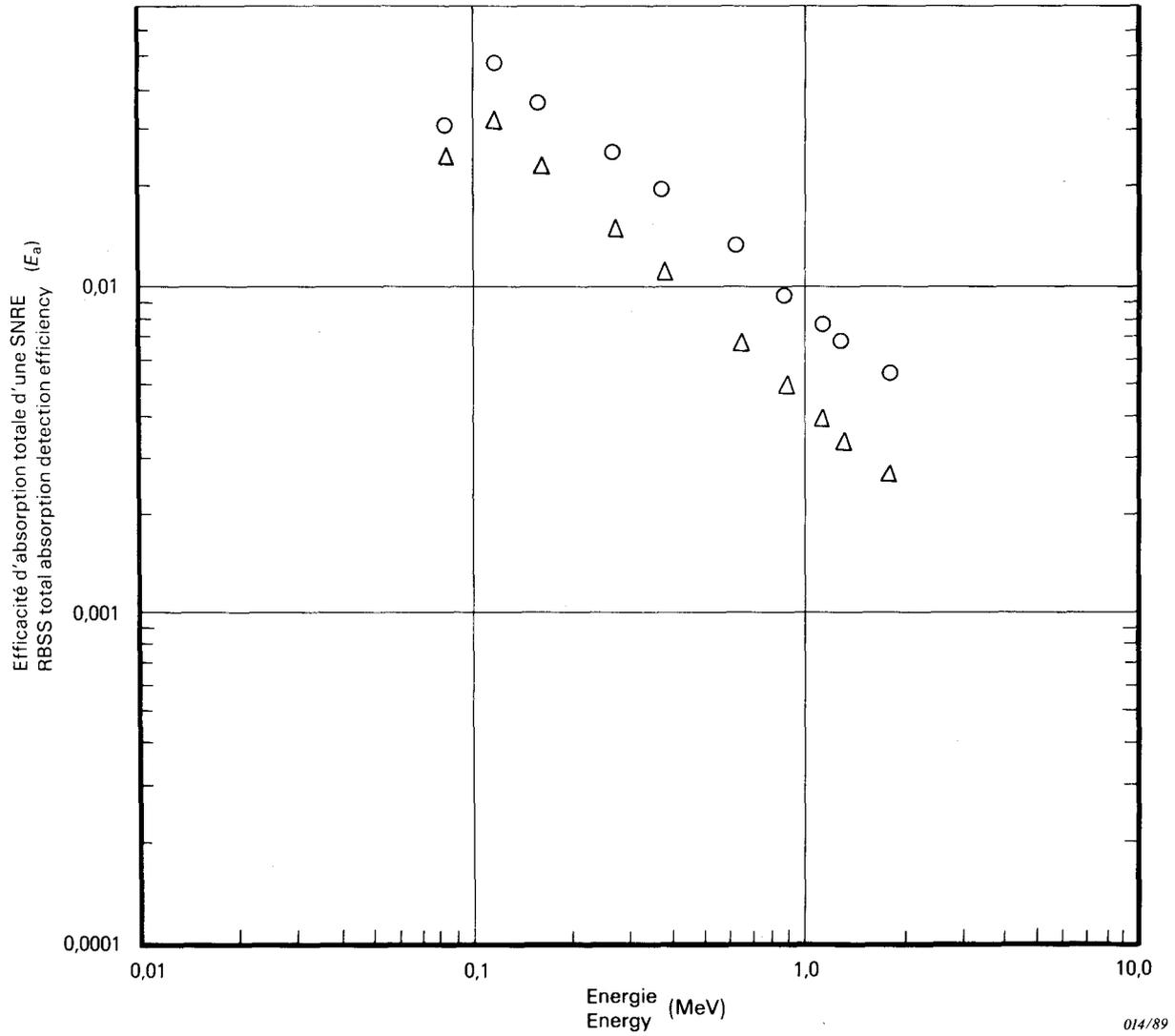


Fig. 7.3.2 — Récipient enveloppant avec détecteur semiconducteur.
Re-entrant beaker with solid state detector.

013/89



○ = 24,5%* Ge(Li) (détecteur 2 du tableau A2).
 △ = 11,5%* Ge(Li) (détecteur 1 du tableau A2).
 * E_{rel} (voir 7.1.2.)

○ = 24,5%* Ge(Li) (detector 2 of Table A2).
 △ = 11,5%* Ge(Li) (detector 1 of Table A2).
 * E_{rel} (see 7.1.2.)

Fig. 7.3.3 — Efficacité d'absorption totale d'une SNRE (E_a) en fonction de l'énergie pour deux détecteurs Ge(Li).
 RBSS total absorption detection efficiency (E_a) versus energy for two Ge(Li) detectors.

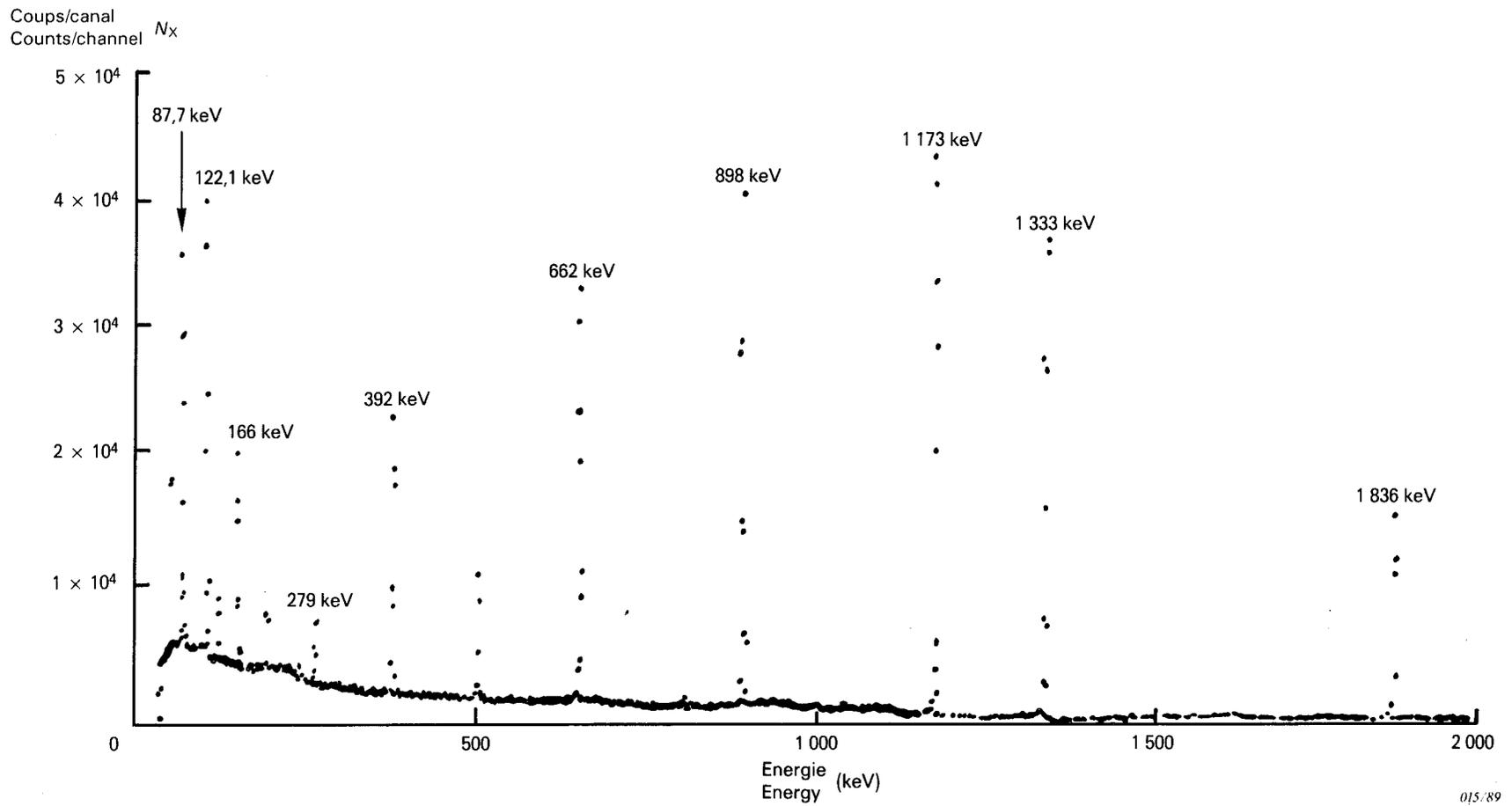


Fig. 7.3.4 — Enregistrement linéaire d'un spectre relevé avec un détecteur* Ge(Li) à l'aide d'une SNRE.

*Détecteur 2 du tableau 7.3.2.

Linear plot of spectrum observed with Ge(Li) detector*, using RBSS.

*Detector 2 of Table 7.3.2.

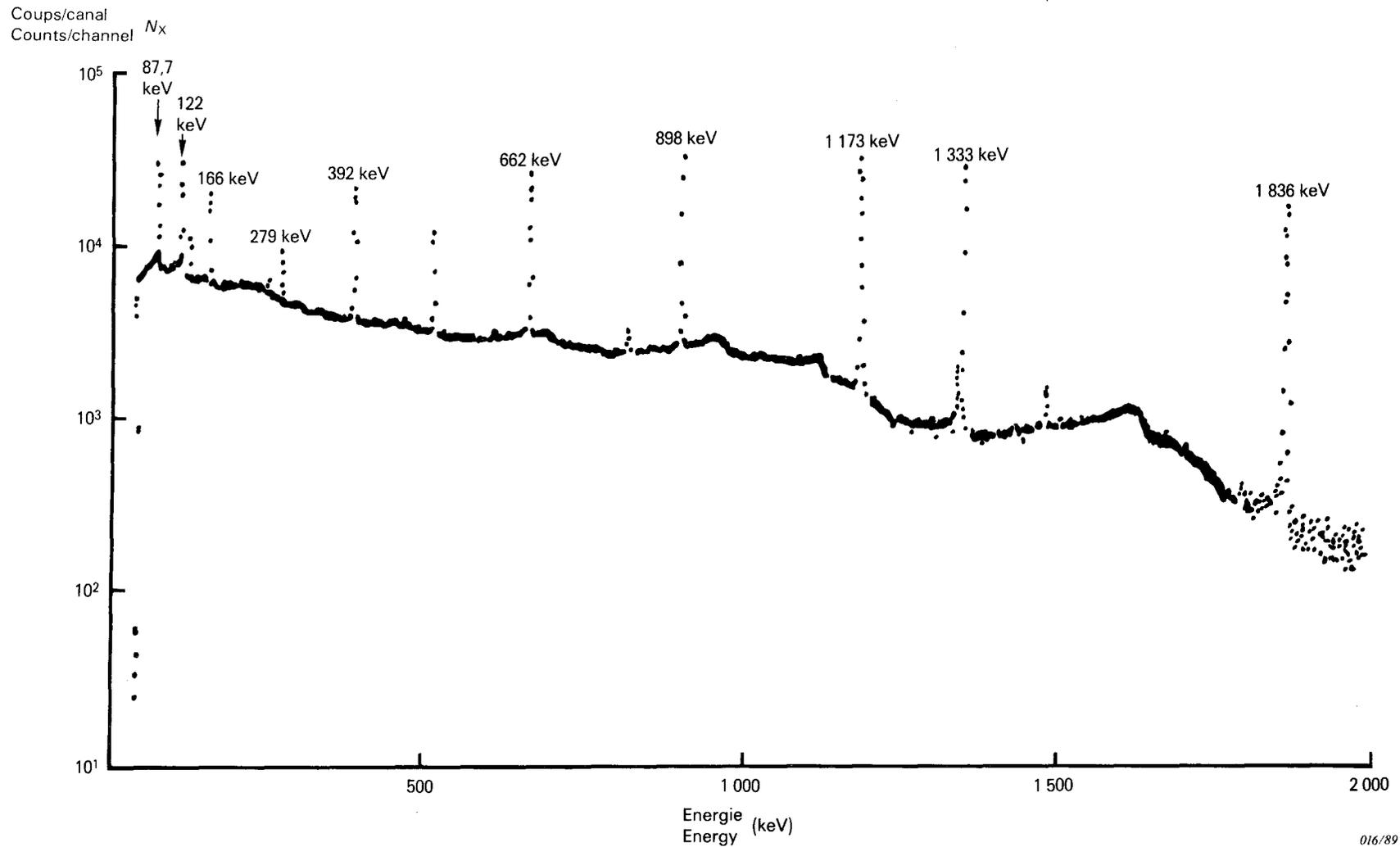


Fig. 7.3.5 — Enregistrement logarithmique d'un spectre relevé avec un détecteur* Ge(Li) à l'aide d'une SNRE.

*Détecteur 2 du tableau 7.3.2.

Log plot of spectrum observed with Ge(Li) detector*, using RBSS.

*Detector 2 of Table 7.3.2.

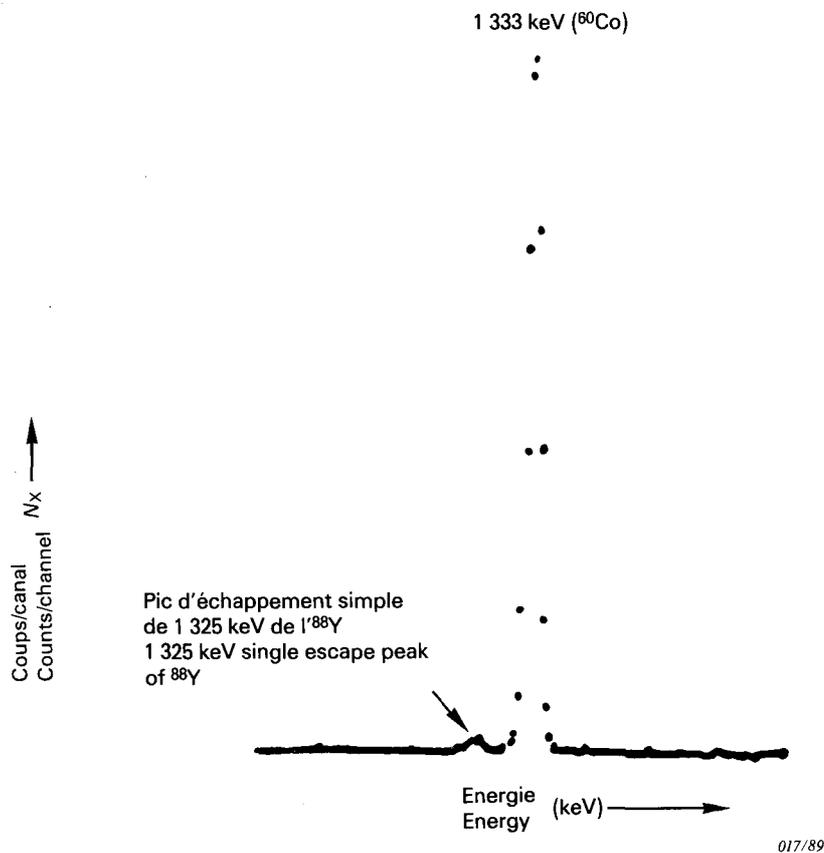
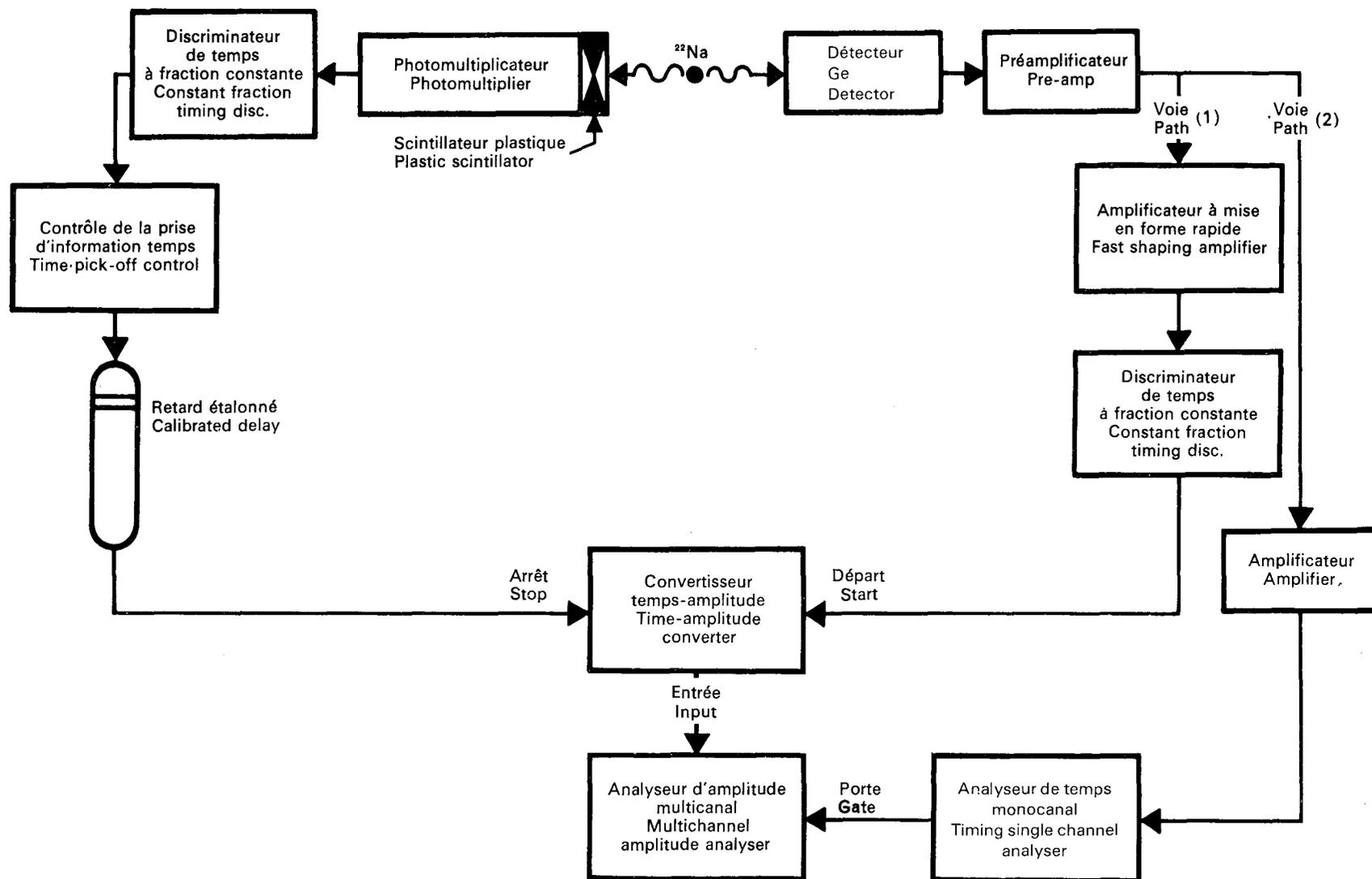


Fig. 7.3.6 — Fraction dilatée du spectre de la figure 7.3.4 montrant le pic de 1333 keV du ⁶⁰Co avec le pic d'échappement simple de 1325 keV de l'⁸⁸Y.
Expanded portion of Figure 7.3.4 spectrum showing 1333 keV peak of ⁶⁰Co together with 1325 keV single escape peak of ⁸⁸Y.



018/89

Fig. 9.1.1 — Mesure de la résolution en temps.
Timing measurement.

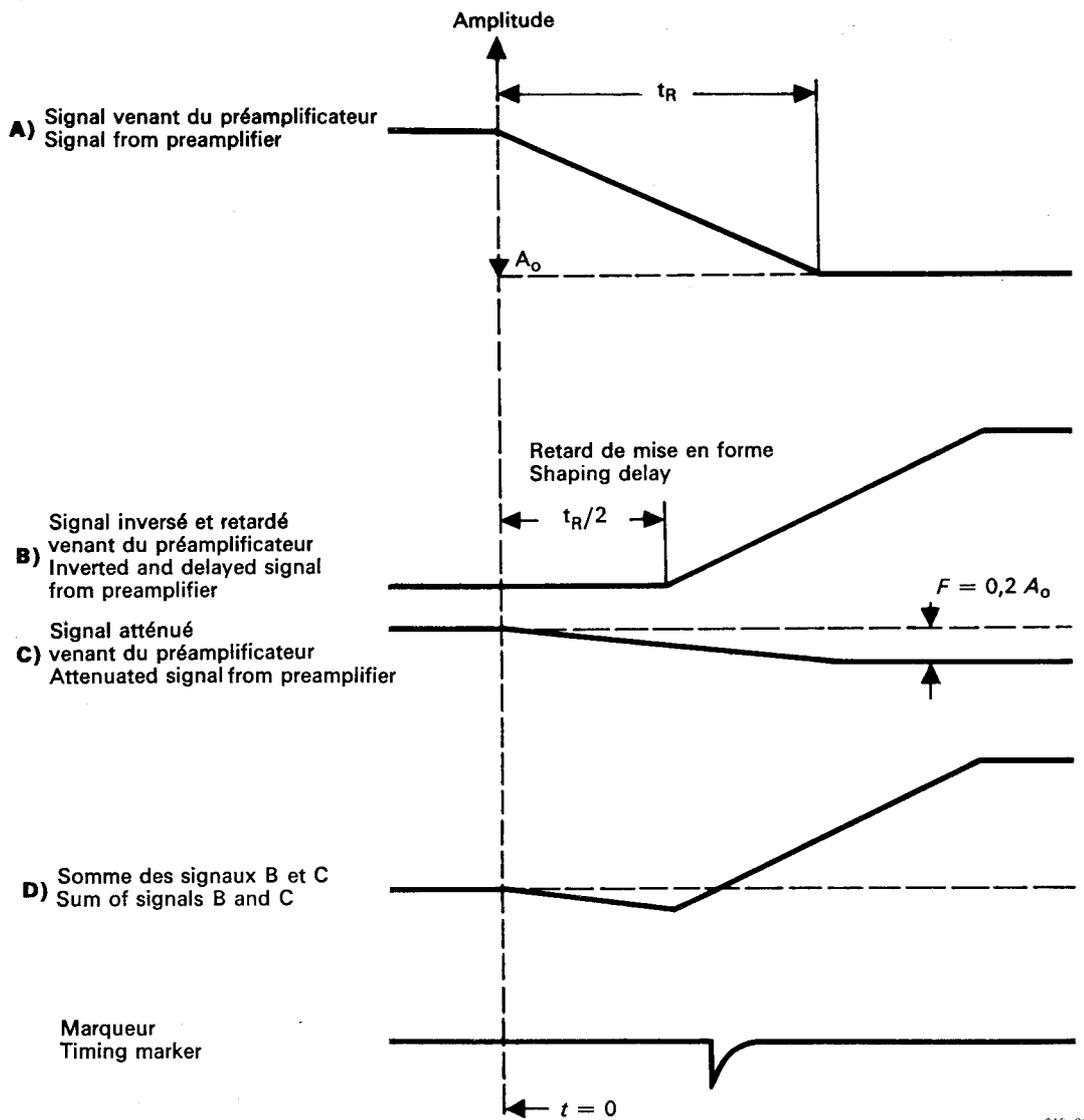
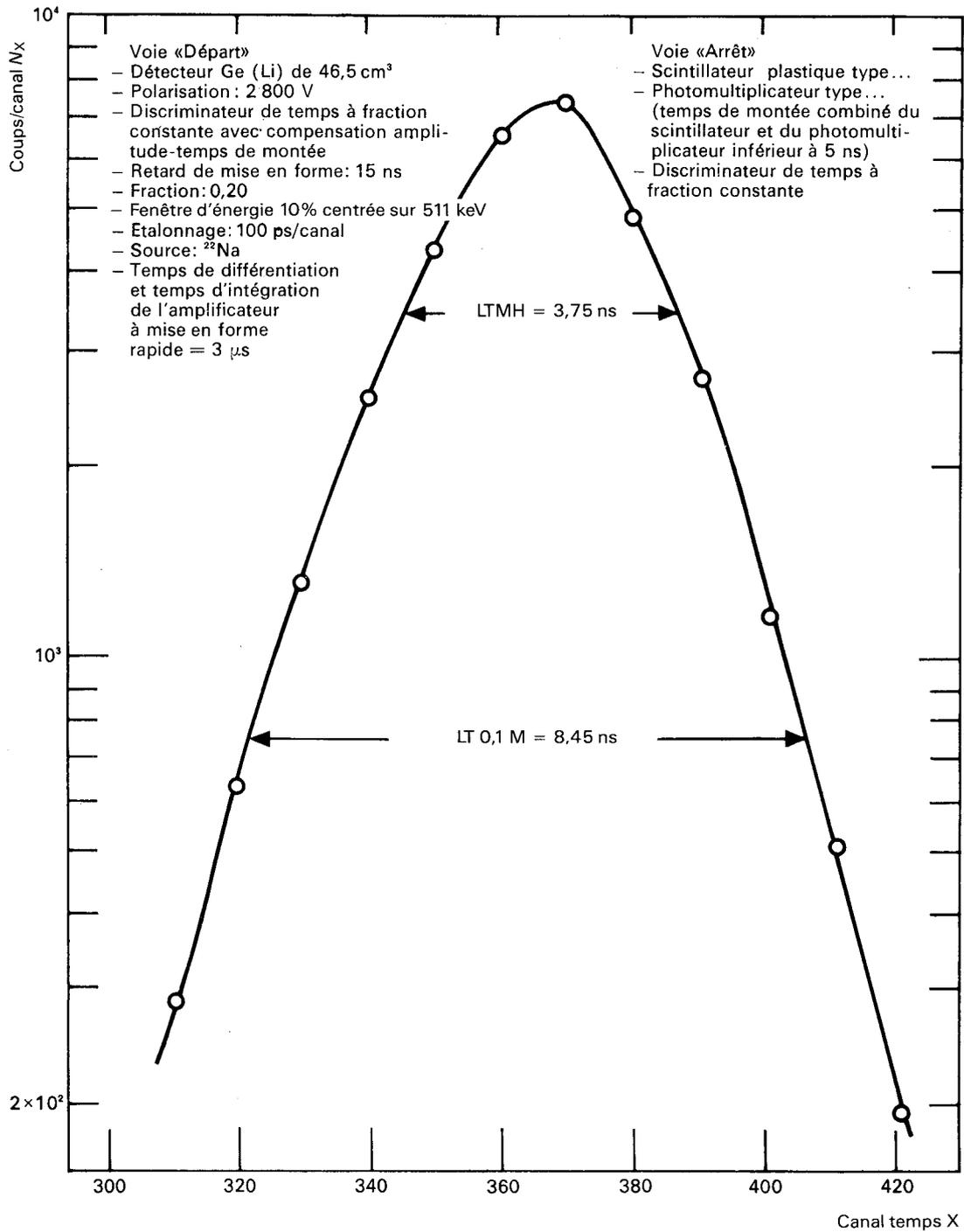


Fig. 9.1.2 — Signaux de mesure de temps (non mis en forme).
Timing measurement signals (unshaped).

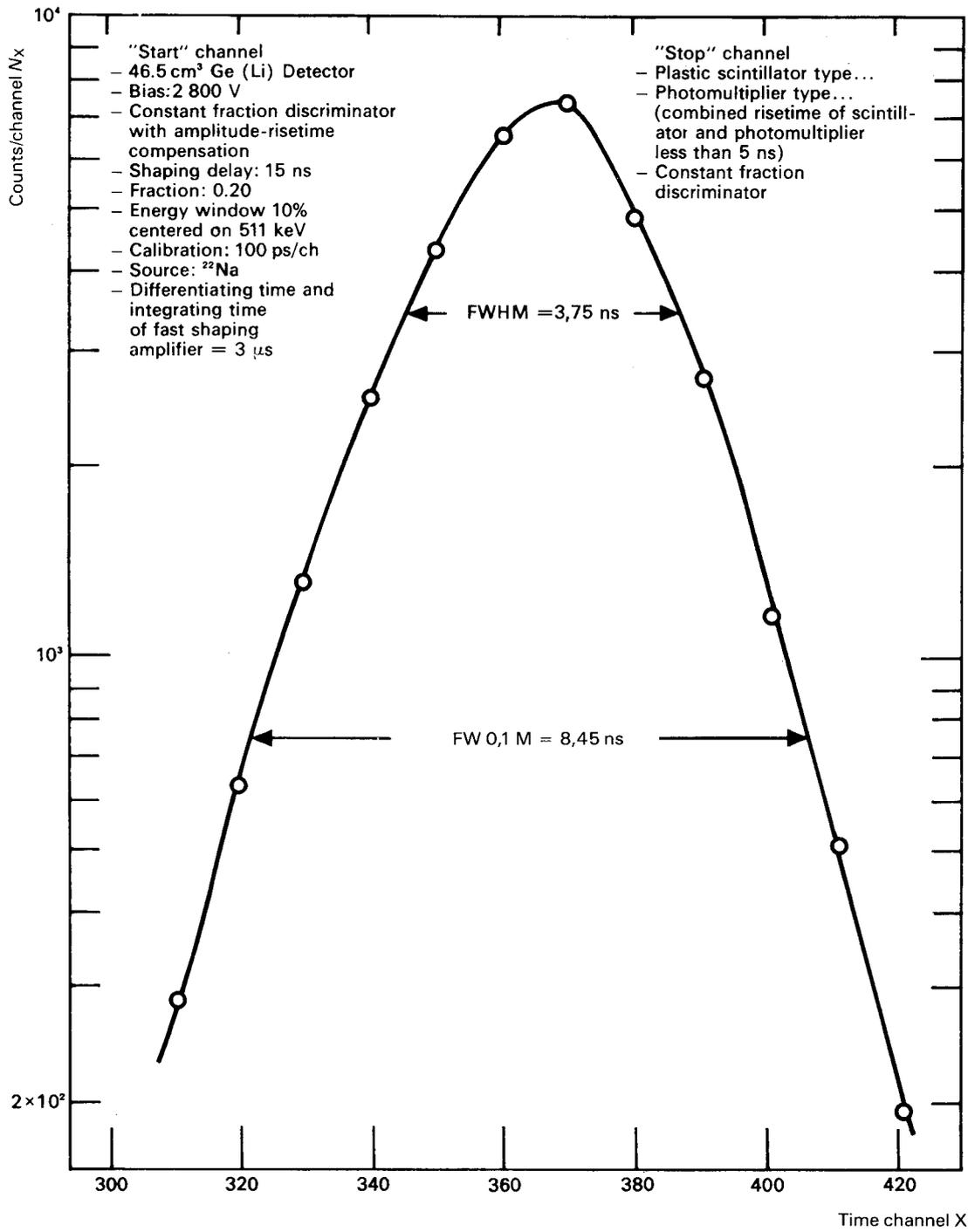
— Page blanche —

— Blank page —



020/89

Fig. 9.2.1 — Spectre type de coïncidence gamma montrant les fluctuations du temps de résolution d'un détecteur.



020/89

Fig. 9.2.1 — Typical gamma-ray coincidence spectrum showing fluctuations in the resolution time of a detector.

TABLEAU 7.3.1
Radionucléides types pour SNRE

Radionucléide	Energie (keV)	Demi-vie	Taux en gamma s ⁻¹ de l'émission initiale pour une SNRE typique Pour modèle 450
¹⁰⁹ Cd	88,0	464 jours	200
⁵⁷ Co	122,1	271 jours	250
¹³⁹ Ce	165,9	137,7 jours	200
²⁰³ Hg	279,2	46,6 jours	600
¹¹³ Sn	391,7	115,1 jours	1000
¹³⁷ Cs	661,6	30,0 ans	500
⁸⁸ Y	898,0	106,6 jours	3500
⁶⁰ Co	1 173,2	5,271 ans	1500
⁶⁰ Co	1 332,5	5,271 ans	1500
⁸⁸ Y	1 836,0	106,6 jours	3800

TABLEAU 7.3.2
Efficacité d'absorption totale d'une SNRE déterminée pour deux détecteurs Ge(Li)

Energie (keV)	E_a pour le détecteur 1 * ($E_{rel} = 11,4\%$) **	E_a pour le détecteur 2 * ($E_{rel} = 24,5\%$) **
88,0	0,025	0,0414
122,1	0,032	0,0484
165,9	0,0236	0,0368
279,2	0,0157	0,0260
391,7	0,0112	0,020
661,6	0,0068	0,0131
898	0,0050	0,0097
1 173	0,0039	0,0077
1 333	0,0034	0,0070
1 836	0,0026	0,0054

* Caractéristiques des détecteurs:

	Détecteur 1	Détecteur 2
Résolution à 1,33 MeV	1,88 keV	2,04 keV
E_{rel} ** à 1,33 MeV	11,4%	24,5%
Pic/Compton à 1,33 MeV	44/1	50/1
Diamètre	41,2 mm	53,5 mm
Longueur	47,5 mm	53 mm
Profondeur de la diffusion	1,0 mm	1,5 mm
Diamètre du cœur	5,0 mm	9,0 mm
Volume actif	56,2 cm ³	103,8 cm ³
Surface de la zone exposée au récipient	74,8 cm ²	111,6 cm ²

** E_{rel} = rendement d'absorption totale de détection par rapport à celui d'un scintillateur NaI(Tl) de 3x3 pouces (76x76 mm) à une distance source-détecteur de 25,0 cm où la surface du pic pour le scintillateur NaI(Tl) vaut $1,2 \times 10^{-3} N_s$. N_s est le nombre total de photons gamma de 1332,5 keV émis par la source durant le temps de comptage (voir 7.3).

TABLE 7.3.1
Representative radionuclides for RBSS

Parent radionuclide	Energy (keV)	Half life	Typical RBSS initial emission rate in gamma s ⁻¹ For Model 450
¹⁰⁹ Cd	88,0	464 days	200
⁵⁷ Co	122,1	271 days	250
¹³⁹ Ce	165,9	137,7 days	200
²⁰³ Hg	279,2	46,6 days	600
¹¹³ Sn	391,7	115,1 days	1 000
¹³⁷ Cs	661,6	30,0 years	500
⁸⁸ Y	898,0	106,6 days	3 500
⁶⁰ Co	1 173,2	5,271 years	1 500
⁶⁰ Co	1 332,5	5,271 years	1 500
⁸⁸ Y	1 836,0	106,6 days	3 800

TABLE 7.3.2
RBSS total absorption detection efficiencies determined for two Ge(Li) detectors

Energy (keV)	E_a for detector 1 * ($E_{rel} = 11,4\%$) **	E_a for detector 2 * ($E_{rel} = 24,5\%$) **
88,0	0,025	0,0414
122,1	0,032	0,0484
165,9	0,0236	0,0368
279,2	0,0157	0,0260
391,7	0,0112	0,020
661,6	0,0068	0,0131
898	0,0050	0,0097
1 173	0,0039	0,0077
1 333	0,0034	0,0070
1 836	0,0026	0,0054

* Detector characteristics:

	Detector 1	Detector 2
Resolution at 1,33 MeV	1,88 keV	2,04 keV
E_{rel} ** at 1,33 MeV	11,4%	24,5%
Peak/Compton at 1,33 MeV	44/1	50/1
Diameter	41,2 mm	53,5 mm
Length	47,5 mm	53 mm
Diffusion depth	1,0 mm	1,5 mm
Core diameter	5,0 mm	9,0 mm
Active volume	56,2 cm ³	103,8 cm ³
Surface area exposed to beaker	74,8 cm ²	111,6 cm ²

** E_{rel} = total absorption detection efficiency relative to that of a 3×3 in (76×76 mm) NaI(Tl) scintillation crystal at a source to detector distance of 25,0 cm, where the peak area for the NaI(Tl) crystal is taken as $1,2 \times 10^{-3} N_s$. N_s is the total number of 1332,5 keV gamma-ray photons emitted by the source during the life counting time (see 7.3).

TABLEAU 11.1

Matériaux communément utilisés dans la fabrication du système de détection

Acier inoxydable
 Alumine
 Aluminium
 Béryllium
 Cartes de circuits imprimés
 Charbon actif
 Cuivre
 Etain
 Indium
 Magnésium
 Mylar aluminisé
 Or
 Oxyde de béryllium
 Plomb
 Tungstène
 Zéolites

TABLEAU 11.2

Contaminants radioactifs types et énergies gamma qui les caractérisent

Radionucléide	Energie gamma (keV)
²³⁵ U	186
²¹² Pb	239
²²⁸ Ac	338
²⁰⁸ Tl	583
²¹⁴ Bi	609
¹³⁷ Cs	662
²²⁸ Ac	991
²²⁸ Ac	968
⁶⁰ Co	1 173
⁶⁰ Co	1 332
⁴⁰ K	1 461
²¹⁴ Bi	1 765
²¹⁴ Bi	2 204
²⁰⁸ Tl	2 614

TABLE 11.1

*Materials commonly used in
detector system construction*

Alumina
Aluminium
Beryllia
Beryllium
Charcoal
Copper
Gold
Indium
Lead
Magnesium
Molecular sieve
Mylar, aluminized
Printed circuit board
Stainless steel
Tin
Tungsten

TABLE 11.2

*Typical radionuclide contaminants
and representative gamma-ray energies*

Radionuclide	Gamma energy (keV)
²³⁵ U	186
²¹² Pb	239
²²⁸ Ac	338
²⁰⁸ Tl	583
²¹⁴ Bi	609
¹³⁷ Cs	662
²²⁸ Ac	991
²²⁸ Ac	968
⁶⁰ Co	1 173
⁶⁰ Co	1 332
⁴⁰ K	1 461
²¹⁴ Bi	1 765
²¹⁴ Bi	2 204
²⁰⁸ Tl	2 614

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ICS 17.240
