

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

**RECOMMANDATION DE LA CEI**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**IEC RECOMMENDATION**

**Publication 430**

Première édition — First edition

1973

---

**Méthodes d'essais des semicteurs gamma au germanium**

---

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

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

### Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la Commission afin d'assurer qu'il reflète bien l'état actuel de la technique.

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**  
Publié trimestriellement
- **Rapport d'activité de la CEI**  
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement

### Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

### Symboles graphiques et littéraux

Seuls les symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

### Revision 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 on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**  
Published quarterly
- **Report on IEC Activities**  
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**  
Published yearly

### Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

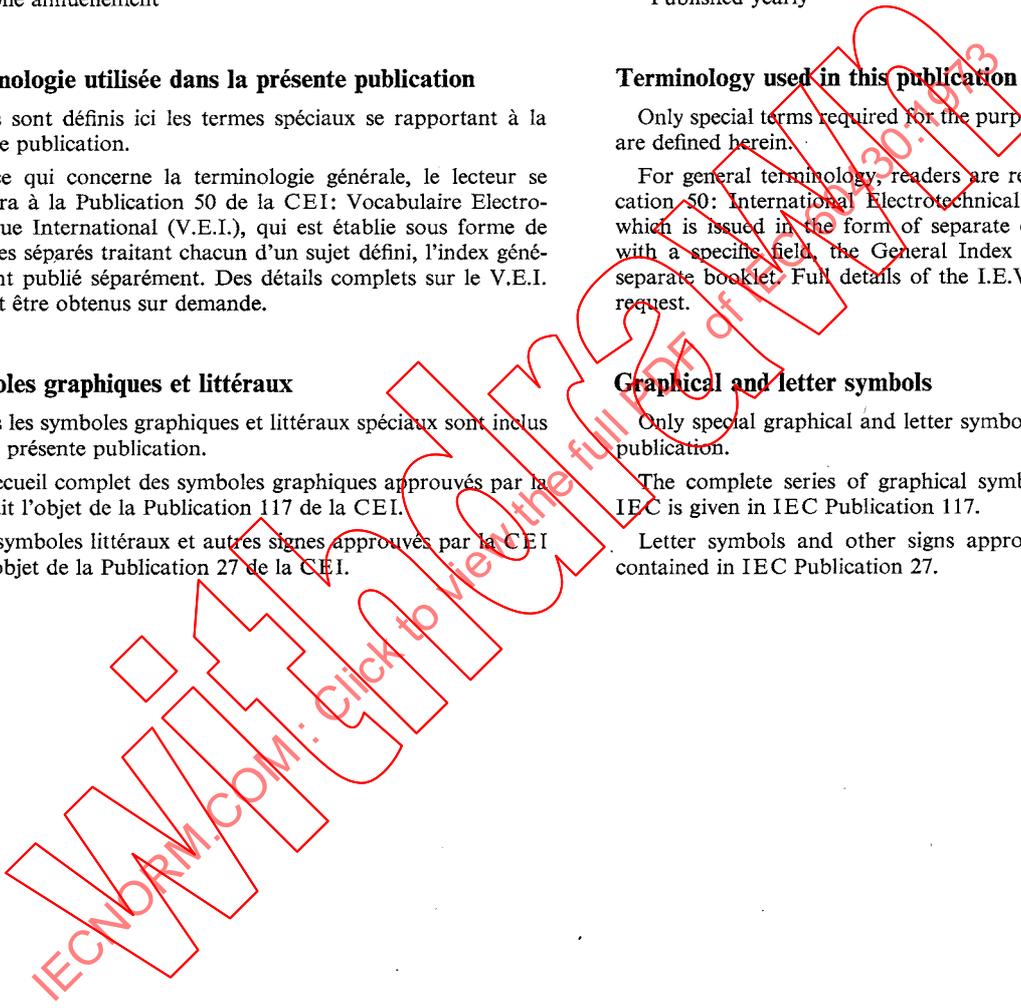
For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

### Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.



**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

**RECOMMANDATION DE LA CEI**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**IEC RECOMMENDATION**

**Publication 430**

Première édition — First edition

1973

---

**Méthodes d'essais des semicteurs gamma au germanium**

---

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

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

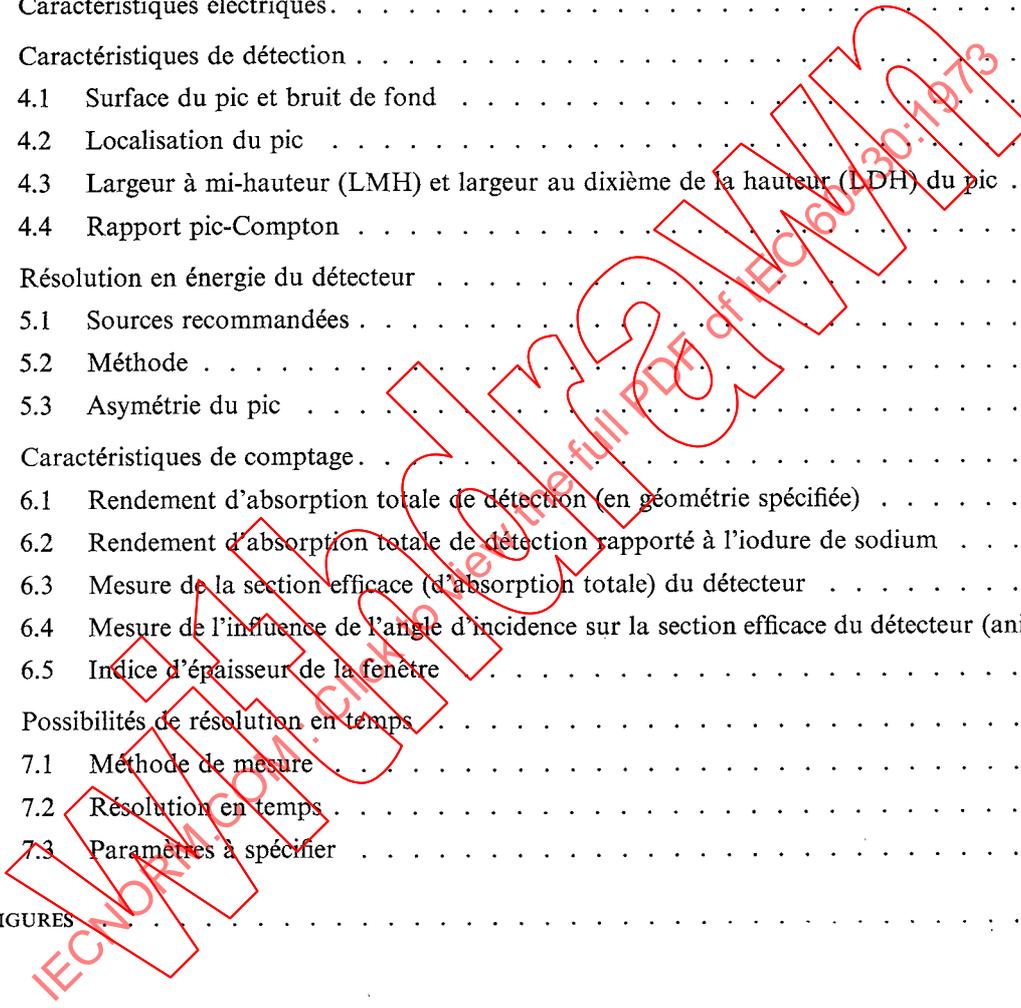
Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé

Genève, Suisse

## SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE . . . . .	4
PRÉFACE . . . . .	4
Articles	
1. Domaine d'application et objet . . . . .	6
2. Généralités . . . . .	6
3. Caractéristiques électriques . . . . .	6
4. Caractéristiques de détection . . . . .	8
4.1 Surface du pic et bruit de fond . . . . .	8
4.2 Localisation du pic . . . . .	8
4.3 Largeur à mi-hauteur (LMH) et largeur au dixième de la hauteur (LDH) du pic . . . . .	8
4.4 Rapport pic-Compton . . . . .	10
5. Résolution en énergie du détecteur . . . . .	10
5.1 Sources recommandées . . . . .	10
5.2 Méthode . . . . .	10
5.3 Asymétrie du pic . . . . .	12
6. Caractéristiques de comptage . . . . .	12
6.1 Rendement d'absorption totale de détection (en géométrie spécifiée) . . . . .	12
6.2 Rendement d'absorption totale de détection rapporté à l'iodure de sodium . . . . .	14
6.3 Mesure de la section efficace (d'absorption totale) du détecteur . . . . .	14
6.4 Mesure de l'influence de l'angle d'incidence sur la section efficace du détecteur (anisotropie) . . . . .	14
6.5 Indice d'épaisseur de la fenêtre . . . . .	14
7. Possibilités de résolution en temps . . . . .	14
7.1 Méthode de mesure . . . . .	16
7.2 Résolution en temps . . . . .	16
7.3 Paramètres à spécifier . . . . .	16
FIGURES . . . . .	18



---

## CONTENTS

	Page
FOREWORD . . . . .	5
PREFACE . . . . .	5
Clause	
1. Scope and object . . . . .	7
2. General . . . . .	7
3. Electrical characteristics . . . . .	7
4. Radiation detection characteristics . . . . .	9
4.1 Peak area and spectral background . . . . .	9
4.2 Peak location . . . . .	9
4.3 Full width at half maximum (FWHM) and full width at tenth maximum (FWTM) of the peak . . . . .	9
4.4 Peak-to-Compton ratio . . . . .	11
5. Detector energy resolution . . . . .	11
5.1 Recommended sources . . . . .	11
5.2 Method . . . . .	11
5.3 Peak asymmetry . . . . .	13
6. Counting characteristics . . . . .	13
6.1 Total absorption detection efficiency (fixed geometry) . . . . .	13
6.2 Relative total absorption detection efficiency (relative to sodium iodide) . . . . .	15
6.3 Detector cross-section measurement (total absorption) . . . . .	15
6.4 Measurement of polar dependence of detector cross-section (anisotropy) . . . . .	15
6.5 Window thickness index . . . . .	15
7. Timing resolution capabilities . . . . .	15
7.1 Measuring system . . . . .	17
7.2 Timing resolution . . . . .	17
7.3 System parameters to be specified . . . . .	17
FIGURES . . . . .	18

IEC NORM.COM: Click to buy the full PDF of IEC 60430:1973

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES D'ESSAIS  
DES SEMICTEURS GAMMA AU 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 recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Le premier projet fut discuté lors de la réunion de Washington en 1970, puis révisé lors de la réunion de Bucarest en 1971. A la suite de cette dernière réunion, un projet définitif, document 45(Bureau Central)61, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en janvier 1972.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Pologne
Australie	Roumanie
Belgique	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Finlande	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Israël	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Italie	Yougoslavie
Pays-Bas	

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 recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This recommendation has been prepared by IEC Technical Committee No. 45, Nuclear Instrumentation.

The draft was first considered at the meeting held in Washington in 1970, and was revised during the meeting held in Bucharest in 1971. As a result of this latter meeting, a final draft, document 45(Central Office)61, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in January 1972.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Romania
Belgium	South Africa (Republic of)
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
Finland	Turkey
France	Union of Soviet
Israel	Socialist Republics
Italy	United Kingdom
Netherlands	United States of America
Poland	Yugoslavia

---

## MÉTHODES D'ESSAIS DES SEMICTEURS GAMMA AU GERMANIUM

### 1. Domaine d'application et objet

La présente recommandation s'applique aux semicteurs au germanium pour rayonnement gamma.

Les semicteurs au germanium sont très utilisés pour la détection et l'analyse des rayonnements gamma, essentiellement en raison de leur excellente résolution en énergie. Le développement rapide et l'utilisation de ces semicteurs dans un certain nombre de disciplines techniques ont rendu désirable l'élaboration de méthodes d'essais normalisées de façon que les mesures puissent avoir la même signification pour tous les constructeurs et utilisateurs. Les épaisseurs finies des fenêtres et le bruit de fond imposent des limitations à la précision pour les très basses énergies.

La présente recommandation n'implique pas l'obligation d'effectuer tous les essais décrits; elle implique seulement que si certains de ces essais sont effectués sur des dispositifs complets, ils doivent l'être conformément aux méthodes indiquées. La présente recommandation complète les publications suivantes de la CEI:

Publication 333: Méthodes d'essais des détecteurs semiconducteurs pour rayonnements ionisants.

Publication 340: Méthodes d'essais des amplificateurs et préamplificateurs pour détecteurs semiconducteurs pour rayonnements ionisants.

### 2. Généralités

Un semicteur gamma au germanium est un dispositif semiconducteur au germanium qui utilise, pour la détection et la mesure de rayonnements X et gamma incidents, la création et le mouvement de porteurs de charge excédentaires produits par l'absorption de ces rayonnements.

Il est recommandé de prendre les précautions générales suivantes lorsqu'on effectue les essais décrits dans la présente recommandation: les valeurs limites fixées pour la tension et le courant, pour les conditions d'irradiation, pour la température ambiante et les conditions d'environnement, ainsi que les autres limites de fonctionnement spécifiées par le constructeur ne devraient pas être dépassées, car il pourrait en résulter des modifications permanentes des caractéristiques du détecteur. Toutes les mesures doivent être exécutées en plaçant le semiconducteur dans l'obscurité totale. Les valeurs des paramètres mesurés doivent être reproductibles, dans la limite de la précision spécifiée, après l'exécution de l'un quelconque ou de tous les essais. L'ondulation, le ronflement, la stabilité, etc., de l'alimentation assurant la polarisation du détecteur ne doivent pas influencer de façon significative les mesures de résolution ou d'autres paramètres du détecteur.

Etant donné que les semicteurs au germanium existent dans un certain nombre de dimensions et de configurations et fonctionnent dans le vide à basse température (habituellement au voisinage de 77 °K), l'ensemble du détecteur est traité comme une «boîte noire» et toutes les mesures géométriques sont rapportées à l'enveloppe extérieure du conteneur. Les essais décrits s'appliquent aux configurations de détecteurs simples à deux bornes et non aux systèmes plus complexes tels ceux qui sont destinés à la suppression des coups dus à l'effet Compton.

### 3. Caractéristiques électriques

Les méthodes recommandées pour la mesure des caractéristiques électriques des semicteurs gamma au germanium sont décrites dans la Publication 333 de la CEI.

## TEST PROCEDURES FOR GERMANIUM GAMMA-RAY DETECTORS

### 1. Scope and object

This recommendation applies to germanium detectors for gamma radiation.

Germanium detectors are extensively used for the detection and analysis of gamma radiation primarily because of their excellent energy resolution. The rapid development and utilization of these detectors in a variety of technical disciplines have made standard test procedures desirable so that measurements may have the same meaning for all manufacturers and users. Finite window thicknesses and background impose limitations in accuracy for very low energies.

This recommendation is not intended to imply that all tests described herein are mandatory, but only that such tests as are carried out on completed devices should be performed in accordance with these recommended procedures. This recommendation is in the nature of a supplement to the following IEC publications:

Publication 333: Test Procedures for Semiconductor Detectors for Ionizing Radiation.

Publication 340: Test Procedures for Amplifiers and Preamplifiers for Semiconductor Detectors for Ionizing Radiation.

### 2. General

A germanium gamma-ray detector is a germanium semiconductor device that utilizes the production and motion of excess free charge carriers produced by radiation absorption for the detection and measurement of incident X- and gamma-radiation.

In carrying out the test procedures described herein, the following general precautions are recommended: maximum diode voltage, current, radiation flux ratings, device ambient temperature and environment and other operational limits specified by the detector manufacturer should not be exceeded, or permanent changes of the detector characteristics may result. All measurements shall be performed with the semiconductor material in total darkness. The values of the parameters measured shall be reproducible, within the stated precision of the measurement, after the performance of any one or all of the tests performed. The ripple, hum, stability, etc., of the detector bias supply shall not substantially influence the resolution or other detector parameter measurements.

Since germanium detectors exist in a variety of sizes and configurations, and operate in a vacuum environment at low temperatures (usually near 77°K), the detector assembly is treated as a "black box" and all geometrical measurements are referred to the outer encapsulating container. The tests described herein apply to simple, two-terminal detector configurations, and not to more complex systems such as those designed for suppression of Compton event counts.

### 3. Electrical characteristics

Recommended methods for measuring the electrical characteristics of germanium gamma-ray detectors are described in IEC Publication 333.

#### 4. Caractéristiques de détection

Les essais en vue d'évaluer les caractéristiques des semicteurs au germanium impliquent la détermination d'un certain nombre de paramètres dans une distribution spectrale de l'amplitude des impulsions. L'origine et l'emploi de ces paramètres sont expliqués dans cet article. Les méthodes décrites ont été retenues en raison de leur simplicité et de la facilité des calculs, bien que dans certaines circonstances, par exemple en présence de pics très déformés, elles puissent conduire à des résultats trompeurs. Pour les analyses décrites ci-dessous, un pic doit présenter une largeur à mi-hauteur d'au moins six canaux et le nombre total de coups à l'intérieur de la LMH doit être au moins 10 000. Si les données sont traitées par ordinateur, le minimum de 10 000 coups ne s'applique pas pourvu que le calculateur détermine la LMH à  $\pm 3\%$  (niveau de confiance 90%).

##### 4.1 Surface du pic et bruit de fond

Les données relatives au spectre d'amplitude devront être relevées sur un graphique représentant le logarithme du nombre de coups  $N(x)$  dans le canal  $x$  en fonction du numéro  $x$  du canal. Sur ce graphique semi-logarithmique, on devra faire correspondre aux sections du spectre d'amplitude, situées de part et d'autre du pic, des lignes droites représentant une approximation de la distribution du bruit de fond, comme le montrent les droites  $a-d$  et  $e-h$  de la figure 4.1.1 (page 18). Pour faciliter la mise en correspondance de ces lignes de bruit de fond de part et d'autre du pic, on pourra utiliser les valeurs moyennes de groupes de 10 points. On fera passer une courbe par les points relevés de chaque côté de la base du pic de façon à prolonger la courbe du pic jusqu'au raccordement avec les lignes du bruit de fond, comme le montrent les courbes  $E-F$  et  $G-H$  de la figure 4.1.1. On considère que le bruit de fond est représenté par la surface située au-dessous de la portion de droite délimitée par les points d'intersection avec la courbe du pic, par exemple  $A-D$  et  $E-H$  de la figure 4.1.1.

La surface totale du pic  $A_t$  s'obtient en faisant la somme des coups par canal dans la partie du pic limitée par les points d'intersection avec la ligne de bruit de fond.

$$A_t = \sum_{x=E}^H N(x) \quad (4.1.1)$$

De même, la surface correspondant au bruit de fond  $A_b$  s'obtient en faisant la somme des coups par canal  $B(x)$  pour le bruit de fond :

$$A_b = \sum_{x=E}^H B(x) \quad (4.1.2)$$

La surface du pic  $A$  est alors donnée par :

$$A = A_t - A_b$$

Il est souhaitable que le total des coups dus au bruit de fond ( $A_b$ ) soit maintenu faible devant le total des coups dans le pic ( $A$ ). Lorsque cela est possible,  $A_b/A$  devrait être inférieur à 0,10. Une courbe montrant la soustraction du bruit de fond devrait être fournie.

##### 4.2 Localisation du pic

Calculer point par point le nombre de coups par canal diminué du bruit de fond  $N(x) - B(x)$  en fonction du numéro de canal ( $x$ ). Déterminer avec précision l'emplacement du pic  $\hat{x}$  par son numéro et sa fraction de numéro de canal (par exemple, canal 863,9 comme dans la figure 4.2.1, page 19). Une technique convenable est la méthode de la moyenne pondérée pour les valeurs de  $N(x)$  dans la partie où le pic est symétrique, par exemple au-dessus de la moitié de la hauteur maximale :

$$\hat{x} = \sum x [N(x) - B(x)] / \sum [N(x) - B(x)] \quad (4.2.1)$$

##### 4.3 Largeur à mi-hauteur (LMH) et largeur au dixième de la hauteur (LDH) du pic

Sur une courbe de  $[N(x) - B(x)]$  en fonction de  $x$ , déterminer la moitié et le dixième de la hauteur du pic. Déterminer la LMH et la LDH du pic en keV (voir paragraphe 5.1).

#### 4. Radiation detection characteristics

Tests for evaluating the characteristics of germanium detectors involve the determination of a number of parameters of a spectral pulse-height distribution. The derivation and use of these parameters are discussed in this clause. The methods described have been chosen for their simplicity and ease of computation, although in certain circumstances, such as in the presence of seriously distorted spectral peaks, the methods may yield misleading results. For the analyses described below, a spectral peak must be at least six channels wide at half-maximum and the total number of counts within the FWHM shall be at least 10 000. If computer fitting of the data is used, the 10 000 counts minimum need not apply provided the FWHM is calculated by computer to within  $\pm 3\%$  (90% confidence level).

##### 4.1 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, e.g. the lines  $a-d$  and  $e-h$  shown in Figure 4.1.1 (page 18). 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 line, e.g., curves  $E-F$  and  $G-H$  in Figure 4.1.1. The background is considered to be the area below the straight line bounded by the points of intersection with the peak curve lines, e.g.  $A-D$  and  $E-H$  in Figure 4.1.1.

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:

$$A_t = \sum_{x=E}^H N(x) \quad (4.1.1)$$

Similarly, the area of the background  $A_b$  is found by summing the counts per channel  $B(x)$  for the background:

$$A_b = \sum_{x=E}^H B(x) \quad (4.1.2)$$

The area of the peak  $A$  is then given by:

$$A = A_t - A_b$$

It is desirable to keep the background counts ( $A_b$ ) low compared to the counts in the peak ( $A$ ). Where feasible,  $A_b/A$  should be less than 0.10. A plot showing the background subtraction should be supplied.

##### 4.2 Peak location

Calculate, point by point, the number of counts per channel less background  $N(x) - B(x)$  as a function of channel number  $x$ . Precisely determine the peak location  $\hat{x}$  in terms of channel (and fractional channel) number (for example, channel 863.9, as in Figure 4.2.1, page 19). A convenient technique is the weighted average method for values of  $N(x)$  in the symmetrical portion of the peak, e.g., above the half maximum height:

$$\hat{x} = \frac{\sum x [N(x) - B(x)]}{\sum [N(x) - B(x)]} \quad (4.2.1)$$

##### 4.3 Full width at half maximum (FWHM) and full width at tenth maximum (FWTM) of the peak

On a linear plot of  $[N(x) - B(x)]$  versus  $x$ , determine a half and a tenth of the height of the peak. Determine the FWHM and FWTM of the peak in keV (see Sub-clause 5.1).

#### 4.4 Rapport pic-Compton

Sur une courbe de log  $N(x)$  en fonction de  $x$ , déterminer la hauteur moyenne  $\bar{N}_c$  de la partie du fond Compton dans la région des énergies définie par l'intervalle relativement plat allant, soit de 358 keV à 382 keV pour les rayons gamma de 661,6 keV du  $^{137}\text{Cs}$ , soit de 1040 keV à 1096 keV pour les rayons gamma de 1332,5 keV du  $^{60}\text{Co}$ .

Le rapport pic-Compton est défini comme le rapport entre le nombre maximal  $[N(\hat{x}) - B(\hat{x})]$  de coups par canal dans le pic et  $\bar{N}_c$  (voir figure 4.4.1, page 20). Lorsque le bruit de fond n'est pas négligeable, il y a lieu de le soustraire avant d'effectuer le rapport. Dans le calcul du rapport pic-Compton, il convient généralement de considérer  $\hat{x}$  comme le canal contenant le plus grand nombre de coups. La source utilisée doit être spécifiée.

### 5. Résolution en énergie du détecteur

#### 5.1 Sources recommandées

Source de rayonnement	Période	Energie en keV
$^{109}\text{Cd}$	453 jours	22,1 (fluorescence) et 87,8*
$^{57}\text{Co}$	270 jours	121,97* et 136,33
$^{137}\text{Cs}$	30 ans	661,60*
$^{22}\text{Na}$	2,60 ans	1274,53*
$^{60}\text{Co}$	5,24 ans	1173,2 et 1332,5*
$^{208}\text{Tl}$	1,91 an (source $^{228}\text{Th}$ )	2614,47*

(Une autre source utilisable pour des rayons gamma d'énergie comprise entre 847 keV et 3600 keV est le  $^{56}\text{Co}$ , 77 jours.)

Dans les mesures de résolution en énergie, il est supposé que le système est étalonné en eV ou keV par canal. Ceci peut être obtenu en utilisant des raies d'étalonnage suffisamment rapprochées en énergie du pic à étudier en vue de réduire les problèmes provenant des non-linéarités. Par exemple dans le cas du  $^{60}\text{Co}$ , les raies de 1173,2 keV et 1332,5 keV conviennent bien à cet effet tandis que dans le cas du  $^{137}\text{Cs}$ , émetteur gamma mono-énergétique, il est nécessaire d'utiliser une source complémentaire telle que le  $^{208}\text{Bi}$  (569,6 keV) ou le  $^{54}\text{Mn}$  (834,8 keV) pour obtenir un point d'étalonnage supplémentaire. La LMH et la LDH (voir paragraphe 4.3) devraient toutes deux être indiquées par le fabricant.

#### 5.2 Méthode

Relier le détecteur à un préamplificateur «intégrateur» (sensible à la charge), à un amplificateur principal et à un analyseur d'impulsions multicanal comme indiqué dans la figure 5.2.1, page 21.

*Note.* — Le détecteur et le préamplificateur peuvent être fournis en un seul bloc; le couplage peut être réalisé en courant continu ou alternatif.

Des méthodes de mise en forme d'impulsion et des constantes de temps convenables pour le fonctionnement optimal du détecteur peuvent être utilisées, mais leur nature doit être clairement spécifiée et notée comme il est indiqué dans la Publication 340 de la CEI. Un générateur d'impulsions (spécifié dans la Publication 333 de la CEI) connecté comme indiqué dans la figure 5.2.1 peut être utilisé en même temps que l'ensemble de comptage gamma sous réserve qu'il soit prouvé que ce générateur ne crée pas de distorsions sur les autres pics.

\* Rayonnements gamma recommandés pour les mesures de résolution en énergie; ils ont été choisis dans le dessin de réduire l'importance des corrections de bruit de fond.

#### 4.4 Peak-to-Compton ratio

On a plot of  $\log N(x)$  versus  $x$ , determine the average height,  $\bar{N}_c$ , of the portion of the Compton continuum in the energy region defined by the relatively flat interval from 358 keV to 382 keV for the  $^{137}\text{Cs}$  661.6 keV gamma-ray or 1040 keV to 1096 keV for the  $^{60}\text{Co}$  1332.5 keV gamma-ray.

The peak-to-Compton ratio is defined as the ratio of the maximum number of counts per channel in the peak,  $[N(\hat{x}) - B(\hat{x})]$ , to  $\bar{N}_c$  (see Figure 4.4.1, page 20). When the background is of significant value, it must be subtracted prior to taking the ratio. In calculating the peak-to-Compton ratio, it is usually adequate to consider  $\hat{x}$  to be the channel containing the greatest number of counts. The source used must be stated.

### 5. Detector energy resolution

#### 5.1 Recommended sources

Radiation source	Half-life	Energy in keV
$^{109}\text{Cd}$	453 days	22.1 (fluorescence) and 87.8*
$^{57}\text{Co}$	270 days	121.97* and 136.33
$^{137}\text{Cs}$	30 years	661.60*
$^{22}\text{Na}$	2.60 years	1274.53*
$^{60}\text{Co}$	5.24 years	1173.2 and 1332.5*
$^{208}\text{Tl}$	1.91 years ( $^{228}\text{Th}$ source)	2614.47*

(An alternate source, with gamma rays ranging in energy from 847 keV to 3600 keV, is 77 day  $^{56}\text{Co}$ .)

In energy resolution measurements, it is assumed that the system is calibrated in terms of eV or keV per channel. 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 non-linearities. For example, in the case of  $^{60}\text{Co}$ , the 1173.2 keV and 1332.5 keV lines are suitable for this purpose, while in the case of the monoenergetic gamma-emitter  $^{137}\text{Cs}$ , it is necessary to use a supplementary source such as  $^{207}\text{Bi}$  (569.6 keV) or  $^{54}\text{Mn}$  (834.8 keV) to provide an additional calibration point. FWHM and FWTM (see Clause 4.3) should both be stated by the manufacturer.

#### 5.2 Method

Connect the detector to a charge-integrating preamplifier, main amplifier and multichannel pulse-height analyser as shown in Figure 5.2.1, page 21.

*Note.* — The detector and preamplifier may be supplied as an integral unit; coupling may be a.c. or d.c.

Pulse-shaping methods and time constants suitable for optimum performance of the detector should be used, but their nature must be clearly specified and recorded as described in IEC Publication 340. A pulse generator (specified by IEC Publication 333), connected to the system as shown in Figure 5.2.1, can be run simultaneously with the gamma-ray counting provided it is demonstrated that the pulser does not distort other peaks.

\* Gamma rays recommended for energy resolution measurements; chosen to reduce the magnitude of background corrections.

Déterminer le spectre de la source gamma et du pic provenant du générateur d'impulsions avec le détecteur branché comme indiqué dans la figure 5.2.1, page 21. Mesurer la LMH,  $\Delta N_S$ , du pic gamma et la LMH,  $\Delta N_T$ , (due au bruit) du pic provenant du générateur d'impulsions. La contribution  $\Delta N_O$  du détecteur à la largeur à mi-hauteur du pic gamma due à tous les facteurs autres que le bruit électrique est donnée par:

$$\Delta N_O = \sqrt{(\Delta N_S)^2 - (\Delta N_T)^2} \quad (5.2.2)$$

La largeur à mi-hauteur  $\Delta N_D$  correspondant à la résolution du détecteur peut être déterminée en remplaçant le détecteur par une capacité convenable (voir Publication 333 de la CEI). La largeur due au générateur d'impulsions obtenue dans une telle mesure est la largeur de bruit  $\Delta N_E$  du système, et  $\Delta N_D$  est donnée par:

$$\Delta N_D = \sqrt{(\Delta N_S)^2 - (\Delta N_E)^2} \quad (5.2.3)$$

La détermination de  $\Delta N_D$  peut ne pas être possible pour un spectromètre comprenant un préamplificateur incorporé si le démontage de l'ensemble est nécessaire pour effectuer la mesure. Ces mesures supposent des appareils électroniques sans distorsions ni dérives dues à des facteurs tels que l'instabilité du gain ou un taux de comptage élevé. C'est pourquoi, comme il a été indiqué à l'article 1, les épaisseurs finies des fenêtres et le bruit de fond imposent des limitations à la précision pour les très basses énergies.

### 5.3 Asymétrie du pic

L'asymétrie du pic due à un certain nombre de facteurs, parmi lesquels le piégeage des porteurs de charges, peut être mise en évidence par l'apparition d'un trainage du côté des basses énergies du pic gamma. Les mesures doivent être effectuées à des taux de comptage suffisamment faibles pour que l'asymétrie du pic due aux effets du taux de comptage soit négligeable. Pour évaluer et comparer, on peut faire l'analyse ci-dessous:

Sur une courbe semi-logarithmique de  $(N_x - Bx)$  en fonction de  $x$ , tracer la ligne «médiane» perpendiculaire à l'axe des abscisses du sommet du pic jusqu'à cet axe. Mesurer au dixième de la hauteur la largeur de la portion du pic comprise entre la courbe et la médiane du côté des basses énergies (intervalle  $L$ ). Mesurer la largeur  $H$  du côté des hautes énergies (voir figure 5.3.1, page 22). L'asymétrie du pic est le rapport  $H/L$ . Indiquer l'énergie des rayons gamma à laquelle il se rapporte. Le rapport d'asymétrie peut également être calculé pour d'autres fractions spécifiées de la hauteur du pic.

## 6. Caractéristiques de comptage

Le rendement de comptage pour un pic d'absorption totale ou un pic d'échappement dépend du volume utile du détecteur au germanium, de sa forme (géométrie), et des interactions avec les matériaux situés dans son voisinage immédiat, par exemple le support du détecteur et certaines parties du cryostat. Le rendement est défini pour la totalité du dispositif de détection. La géométrie du détecteur dans le cryostat doit être indiquée par le fabricant.

### 6.1 Rendement d'absorption totale de détection (en géométrie spécifiée)

Le détecteur étant associé aux sous-ensembles électroniques auxiliaires comme indiqué dans la figure 5.2.1, déterminer le spectre d'une source étalon de  $^{60}\text{Co}$ . La distance entre la source et la face avant du capot du cryostat (mesurée du centre de la source au centre de cette face avant) doit être de 25,0 cm. Le rendement d'absorption totale de détection  $E_a$  est défini, pour les comparaisons et les spécifications, comme le rapport du nombre de coups  $A$  dans le pic d'absorption totale (voir paragraphe 4.1) au nombre total  $N_s$  de photons gamma de 1332,5 keV émis par la source pendant la durée utile du comptage:

$$E_a = A/N_s \quad (6.1.1)$$

Obtain a spectrum of the gamma-ray source and pulser-generated peak with the detector connected as shown in Figure 5.2.1, page 21. Measure FWHM for the gamma-ray peak  $\Delta N_S$  and for the pulser peak  $\Delta N_T$  (total noise linewidth).  $\Delta N_O$ , the contribution to the detector linewidth due to all factors other than electrical noise is given by:

$$\Delta N_O = \sqrt{(\Delta N_S)^2 - (\Delta N_T)^2} \quad (5.2.2)$$

The detector resolution linewidth  $\Delta N_D$  may be determined by replacing the detector with a suitable capacitor (see IEC Publication 333). The pulser width obtained in such a measurement is the system noise linewidth  $\Delta N_E$ , and  $\Delta N_D$  is given by:

$$\Delta N_D = \sqrt{(\Delta N_S)^2 - (\Delta N_E)^2} \quad (5.2.3)$$

A determination of  $\Delta N_D$  may not be possible for a spectrometer system supplied with an integral preamplifier if dismantling of the system is required to perform the measurement. These measurements presuppose an electronic system free from distortion and drift due to factors such as gain instabilities and high counting rate. Also, as noted in Clause 1, finite window thicknesses and background impose limitations in accuracy for very low energies.

### 5.3 Peak asymmetry

Peak asymmetry due to a number of factors, including carrier trapping, may be evidenced by the appearance of tailing on the low-energy side of the gamma-ray peak. Measurements should be made at count rates sufficiently low that peak asymmetry due to counting rate effects is negligible. For purposes of comparison and evaluation, the following analysis can be used.

On a semilog plot of  $(Nx - Bx)$  versus  $x$ , draw the "midline" of the peak extending down from the apex of the peak at channel  $x$  perpendicular to the abscissa. Measure, at the one-tenth height level, the width of the portion of the peak on the low energy side bounded by the peak envelope and midline (interval  $L$ ). Measure the interval  $H$  on the high energy side of the midline (see Figure 5.3.1, page 22). 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. Counting characteristics

The gamma-ray counting efficiency for a full-energy peak (total absorption peak) or an escape peak depends upon the active volume of the germanium detector, its shape (geometry), and the interactions in the material in the immediate vicinity of the detector, e.g. detector mount and cryostat parts. The efficiency is defined as that of the complete detector assembly. The geometry of the detector in the cryostat should be stated by the manufacturer.

### 6.1 Total absorption detection efficiency (fixed geometry)

With the detector connected to the auxiliary electronic equipment as shown in Figure 5.2.1, obtain a spectrum using a calibrated  $^{60}\text{Co}$  source. The source-to-cryostat end cap distance (as measured from the centre of the source to the centre of the front of the end cap) should be 25.0 cm. The total absorption detection efficiency  $E_a$  is stated, for purposes of comparison and specification, as the ratio of the number of counts  $A$  in the total absorption peak (see Sub-clause 4 1) to the total number  $N_s$  of 1332.5 keV gamma-ray photons emitted by the source during the effective (live) counting time:

$$E_a = A/N_s \quad (6.1.1)$$

Par ailleurs, la durée du comptage peut être déterminée à partir de la surface du pic d'un générateur d'impulsions fonctionnant à un taux de comptage connu et constant et dont la raie se situe à une énergie d'environ 10% supérieure à celle du pic gamma. Pour les applications dans lesquelles la source est située près de la face avant du capot du cryostat, une mesure supplémentaire du rendement simulant cette condition sera utile.

Le rendement ainsi déterminé est défini comme celui du dispositif de détection complet. Ce rendement n'est pas nécessairement égal au rendement du détecteur lui-même. Tandis que le premier dépend de la distance entre la source et la face avant du capot du cryostat, le second dépend de la distance entre la source et le détecteur.

### 6.2 Rendement d'absorption totale de détection rapporté à l'iodure de sodium

Le rendement d'absorption totale  $E_{rel}$  d'un semicteur au germanium par rapport à celui d'un scintillateur de NaI (Tl) de 3 in × 3 in (76,2 mm × 76,2 mm) à une distance source-détecteur de 25,0 cm (comme défini au paragraphe 6.1) peut être déterminé par :

$$E_{rel} = A/A_{NaI} \quad (6.2.1)$$

où  $A$  est la surface du pic obtenue comme indiqué au paragraphe 6.1 et  $A_{NaI}$  (pour les photons gamma de 1332,5 keV émis par le  $^{60}\text{Co}$  à une distance source-détecteur de 25,0 cm) est  $1,20 \times 10^{-3} N_s$ .

### 6.3 Mesure de la section efficace (d'absorption totale) du détecteur

En plaçant la source à 25,0 cm de la face avant du capot du cryostat et en utilisant une source de rayonnement gamma étalonnée en débit de fluence gamma,  $n$  (quanta/cm<sup>2</sup>.s), on obtient un spectre d'amplitude. Il faudra avoir soin de rendre minimaux les effets des distorsions et des dérives possibles dues à des facteurs tels que les instabilités du gain et le taux de comptage. La section efficace  $\sigma$  du détecteur, pour l'énergie du rayonnement gamma utilisée, est définie comme la surface sensible (cm<sup>2</sup>) d'un détecteur ayant un rendement égal à 100% et est obtenue par :

$$\sigma = A/t_{eff}n \quad (6.3.1)$$

où  $t_{eff}$  est la durée utile du comptage comme déterminé au paragraphe 6.1 et  $A$  est déterminé comme au paragraphe 4.1.

### 6.4 Mesure de l'influence de l'angle d'incidence sur la section efficace du détecteur (anisotropie)

Des mesures de la section efficace du détecteur (comme au paragraphe 6.3) sont effectuées dans deux plans perpendiculaires, la distance de la source au centre de la face avant du capot restant constante et égale à 25,0 cm. Les sections efficaces relatives sont reportées sur un graphique en fonction de l'angle par rapport à l'axe de référence.

### 6.5 Indice d'épaisseur de la fenêtre

On peut obtenir une indication sur l'épaisseur de la «fenêtre» (zone morte du détecteur, monture et face avant du capot du cryostat, etc.) en mesurant et en indiquant la valeur de l'indice d'épaisseur de la fenêtre défini comme les rapports des surfaces de pic pour les trois énergies 53,2 keV, 79,6/81,0 keV et 161 keV émises par le  $^{133}\text{Ba}$ . Les intensités relatives de ces pics sont dans l'ordre indiqué: 3,3, 60 et 1,0. Il faut utiliser des angles solides faibles pour diminuer la probabilité de détection simultanée d'événements en coïncidence.

## 7. Possibilités de résolution en temps

La méthode de mesure des possibilités de résolution en temps d'un détecteur au germanium est basée sur un montage à coïncidence qui détecte les deux rayonnements gamma de 511 keV d'une source de  $^{22}\text{Na}$  présentant un pic d'annihilation. Un signal «départ» fourni par le détecteur au 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. Donc, des informations valables sur la résolution en temps du détecteur au germanium sont obtenues, si le second détecteur et les circuits électroniques du montage sont nettement plus rapides que le détecteur au germanium. Un tel montage est décrit dans le paragraphe 7.1.

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 approximately 10% above the gamma-ray peak in energy. For applications in which a source will be close to the cryostat end cap, an additional efficiency measurement simulating this condition is useful.

The efficiency thus measured is defined as that of the complete detector assembly. This efficiency is not necessarily equal to the efficiency of the detector itself. While the former depends on the source-to-cryostat end cap distance, the latter depends on the source-to-detector distance.

#### 6.2 Relative total absorption detection efficiency (relative to sodium iodide)

The efficiency  $E_{\text{rel}}$  of a germanium detector relative to that of a 3 in  $\times$  3 in (76.2 mm  $\times$  76.2 mm) NaI (TI) scintillation crystal at a source-to-detector distance of 25.0 cm (as defined in Sub-clause 6.1), may be determined from the following:

$$E_{\text{rel}} = A/A_{\text{NaI}} \quad (6.2.1)$$

where  $A$  is the peak area as obtained in Sub-clause 6.1, and  $A_{\text{NaI}}$  (for the 1332.5 keV gamma-ray photons emitted from  $^{60}\text{Co}$  at a source-to-detector distance of 25.0 cm) is  $1.20 \times 10^{-3}N_s$ .

#### 6.3 Detector cross-section measurement (total absorption)

At a source-to-cryostat end cap distance of 25.0 cm, obtain a pulse-height spectrum using a gamma-ray source calibrated in terms of gamma-ray flux,  $n$  (quanta/cm<sup>2</sup>.s). Care should be taken to minimize the effects of possible distortion and drift due to such factors as gain instabilities and counting rate. The detector cross-section  $\sigma$  at the gamma-ray energy measured, defined as the sensitive area (cm<sup>2</sup>) of a detector with 100% efficiency, is obtained from the following:

$$\sigma = A/t_{\text{eff}}n \quad (6.3.1)$$

where  $t_{\text{eff}}$  is the effective (live) counting time (s) as determined in Sub-clause 6.1 and  $A$  is determined according to Sub-clause 4.1.

#### 6.4 Measurement of polar dependence of detector cross-section (anisotropy)

Detector cross-section measurements (as in Sub-clause 6.3) are made in two perpendicular planes with the distance from the source to the centre of the end cap held constant at 25.0 cm. The relative cross-sections are plotted as a function of the angle from the reference axis.

#### 6.5 Window thickness index

Information on the thickness of the “window” (detector dead-layer, cryostat mount and end cap, etc.) can be obtained by measuring and reporting the window thickness index as the ratios of peak areas for the three energies 53.2 keV, 79.6/81.0 keV and 161 keV emitted by  $^{133}\text{Ba}$ . The relative intensities of these lines in the order given are 3.3, 60 and 1.0. Low solid angles should be used to lower the probability of simultaneous detection of coincident events.

### 7. Timing resolution capabilities

The measuring method for the determination of the timing capabilities of a germanium detector is based on a coincidence system detecting the two 511 keV gamma-rays of a  $^{22}\text{Na}$  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-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 significantly faster than the germanium detector. Such a system is described in Sub-clause 7.1.

### 7.1 Méthode de mesure

La figure 7.1.1, page 23, montre un schéma type pour la mesure de la résolution en temps d'un détecteur au germanium. La voie «arrêt», référence de temps, est constituée par un scintillateur plastique rapide associé à un photomultiplicateur relativement rapide (temps de montée du scintillateur  $\leq 5$  ns). Le signal issu du photomultiplicateur est traité par un discriminateur de temps à fraction constante.

Le signal de sortie du discriminateur est retardé avant d'entrer dans le côté «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 au germanium suit deux voies à la sortie du préamplificateur. Une de ces voies (1) 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 de temps à fraction constante. La fraction de l'amplitude de l'impulsion utilisée dans ce discriminateur de temps devrait 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 (figure 7.1.2, page 24) élimine au premier ordre 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 7.1.2.

L'autre voie (2) conduit à un amplificateur et à un analyseur de temps monocanal qui est utilisé pour déclencher l'entrée de l'analyseur multicanal (figure 7.1.1). Le  $^{22}\text{Na}$  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%.

### 7.2 Résolution en temps

On obtient un spectre de coïncidence gamma en utilisant un montage tel que celui représenté dans la figure 7.1.1. Un spectre type est représenté dans la figure 7.2.1, page 26. Le nombre de canaux séparant les points situés à mi-hauteur ne devra pas être inférieur à 6 et le nombre total de coups correspondant à la LMH devra être d'au moins 4 000. Si les données sont traitées par un ordinateur, le minimum de 4 000 coups ne s'applique pas pourvu que le ordinateur détermine la LMH à  $\pm 5\%$  (niveau de confiance 90%). Après étalonnage de l'axe des temps à l'aide de deux retards calibrés au moins, la LMH et la LDH (voir paragraphe 4.3) seront être mesurées en nanosecondes.

### 7.3 Paramètres à spécifier

Les paramètres suivants doivent être spécifiés pour les essais de temps en vue d'assurer la reproductibilité:

- a) Tension de polarisation du détecteur au germanium.
- b) Constante de temps de différentiation de l'amplificateur à mise en forme rapide.
- c) Retard de la mise en forme.

### 7.1 Measuring system

Figure 7.1.1, page 23, 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 (scintillator risetime  $\leq 5$  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-amplitude converter. Several calibrated delays are required for this function in order to provide a calibration of the time axis.

The germanium detector signal from the output of the preamplifier is routed along two paths. One path (1) is to a fast shaping amplifier with a differentiation time constant approximately equal to the fastest risetime 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 risetime of the fastest signal observed at the output of the preamplifier. This combination of parameters (Figure 7.1.2, page 24) eliminates to first order the timing uncertainties due to risetime and pulse height variations. The unshaped timing measurement signals are shown in Figure 7.1.2.

The second signal path (2) is to an amplifier and timing single-channel analyser which is used to gate the multichannel analyser (Figure 7.1.1).  $^{22}\text{Na}$  is used as a source of coincident annihilation quanta and the single-channel analyser should be set on the 511 keV photon peak with 10% window width.

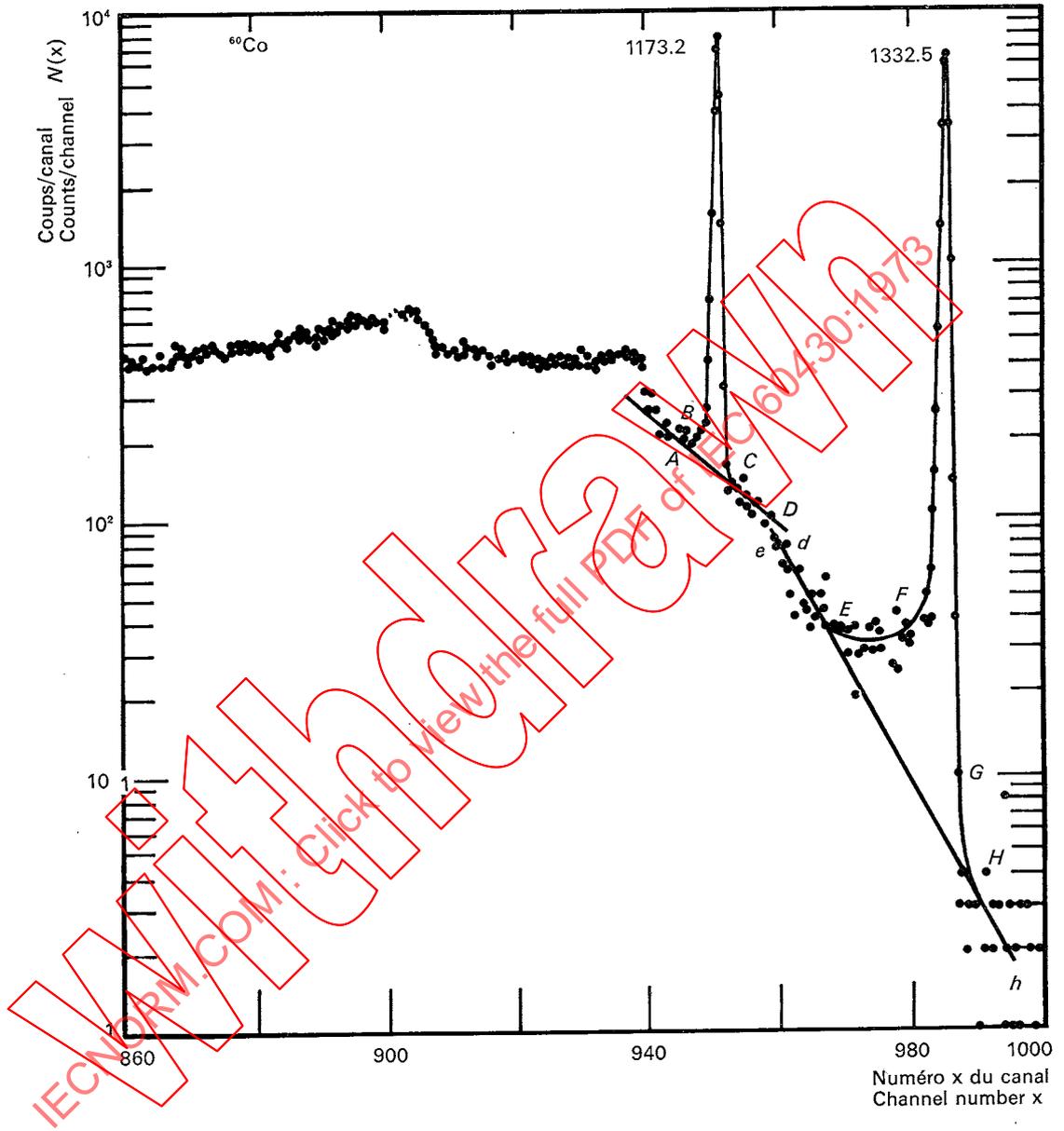
### 7.2 Timing resolution

Using a system such as shown in Figure 7.1.1, a gamma-ray coincidence time spectrum is obtained. A typical spectrum is shown in Figure 7.2.1, page 27. The number of channels between the half-maximum points shall be at least 6, and the total number of counts contained within the FWHM shall be at least 4 000. If computer fitting of the data is used, the 4 000 minimum counts need not apply provided the FWHM is calculated by computer to within  $\pm 5\%$  (90% confidence level). After calibrating the time axis with at least two calibrated delays, the FWHM and the FWTM (see Sub-clause 4.3) shall be measured in nanoseconds.

### 7.3 System parameters to be specified

The following parameters shall be stated for the timing test in order to ensure reproducibility:

- a) Germanium detector bias voltage.
- b) Differentiation time constant of the fast shaping amplifier.
- c) Shaping delay time.



0093/73

FIG. 4.1.1 — Spectre gamma du  $^{60}\text{Co}$  montrant les droites donnant une approximation du bruit de fond.

$^{60}\text{Co}$  gamma-ray spectrum showing straight line background approximations.

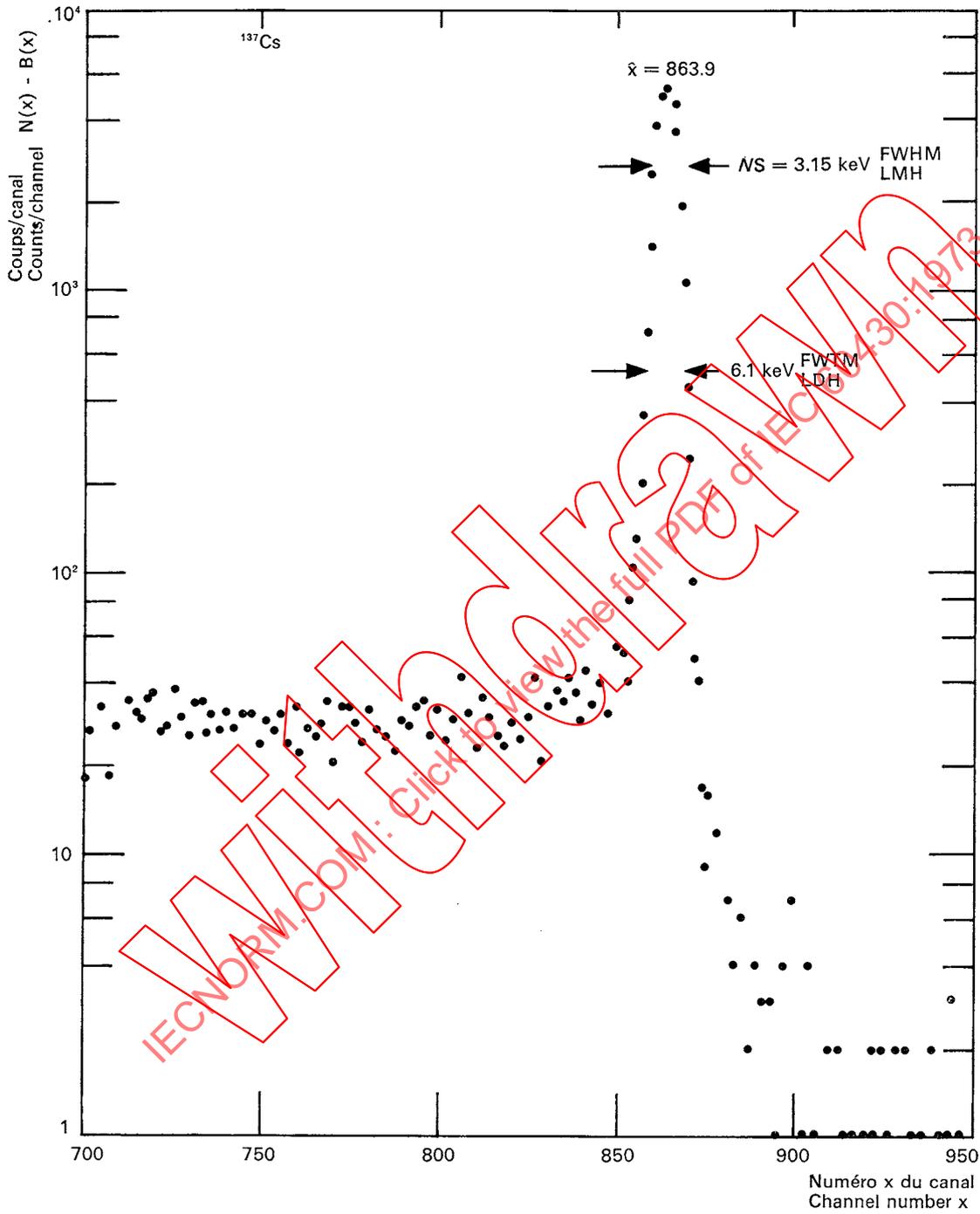
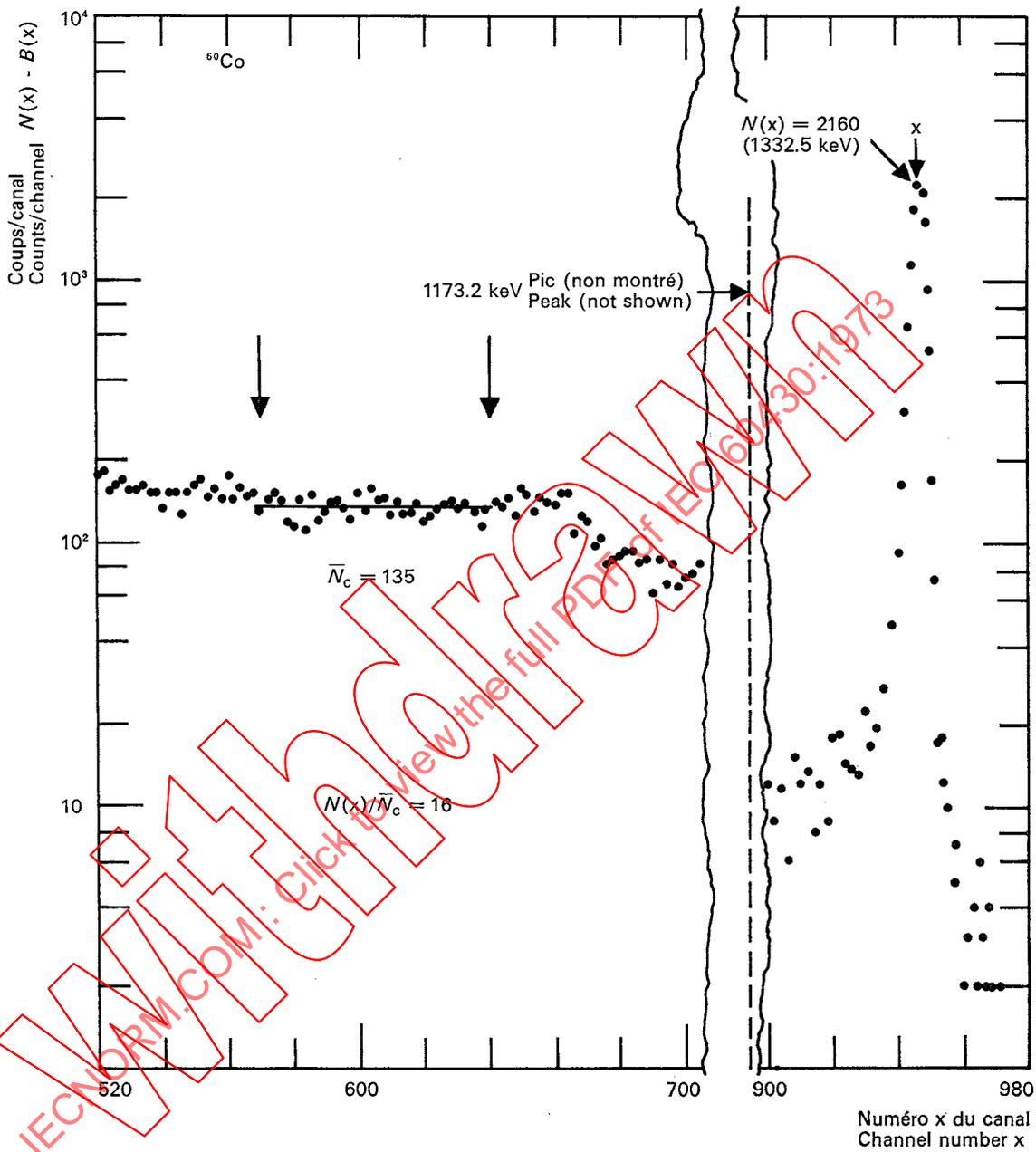
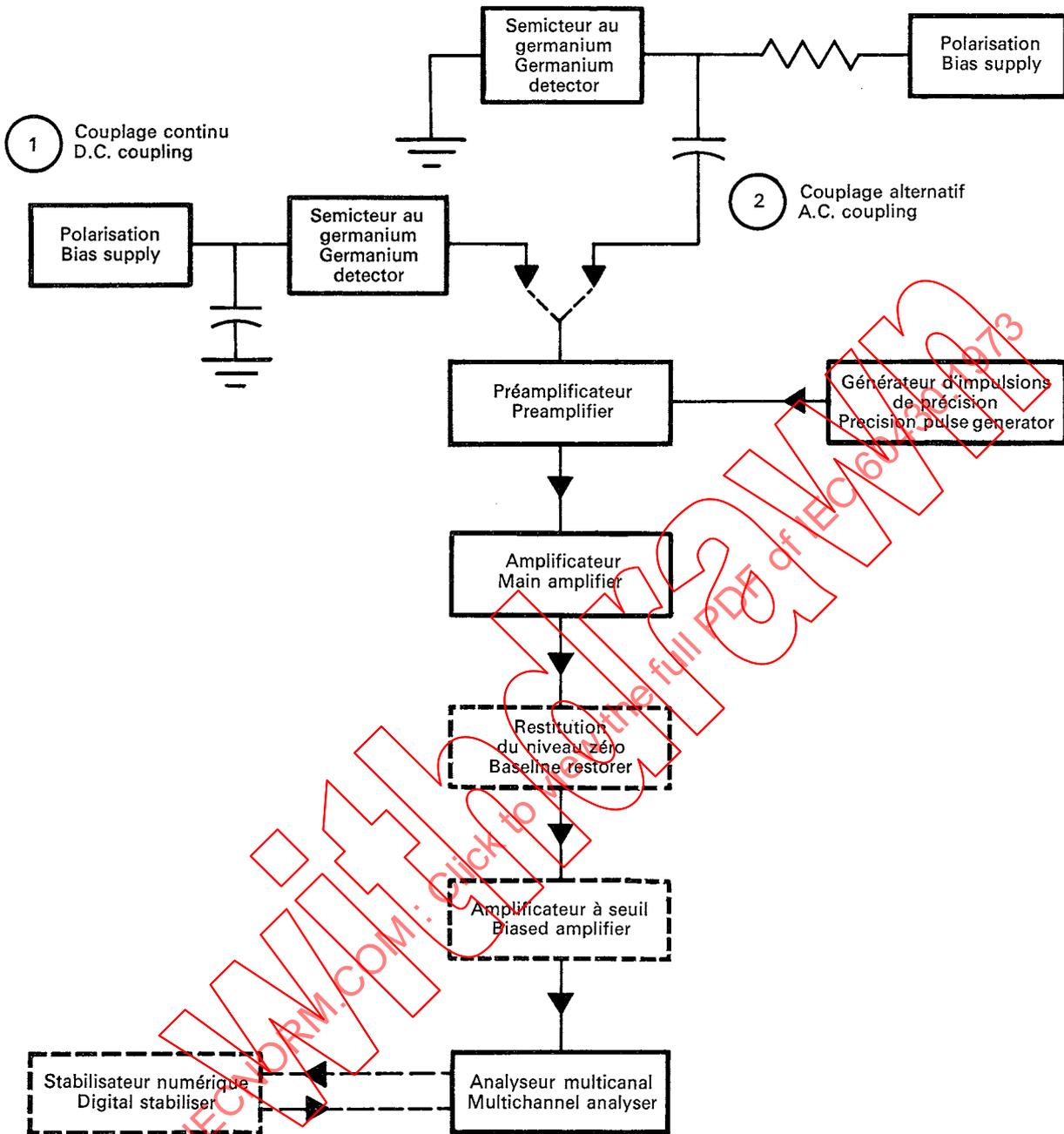


FIG. 4.2.1 — Spectre gamma du  $^{137}\text{Cs}$ .  
 $^{137}\text{Cs}$  gamma-ray spectrum.



0095173

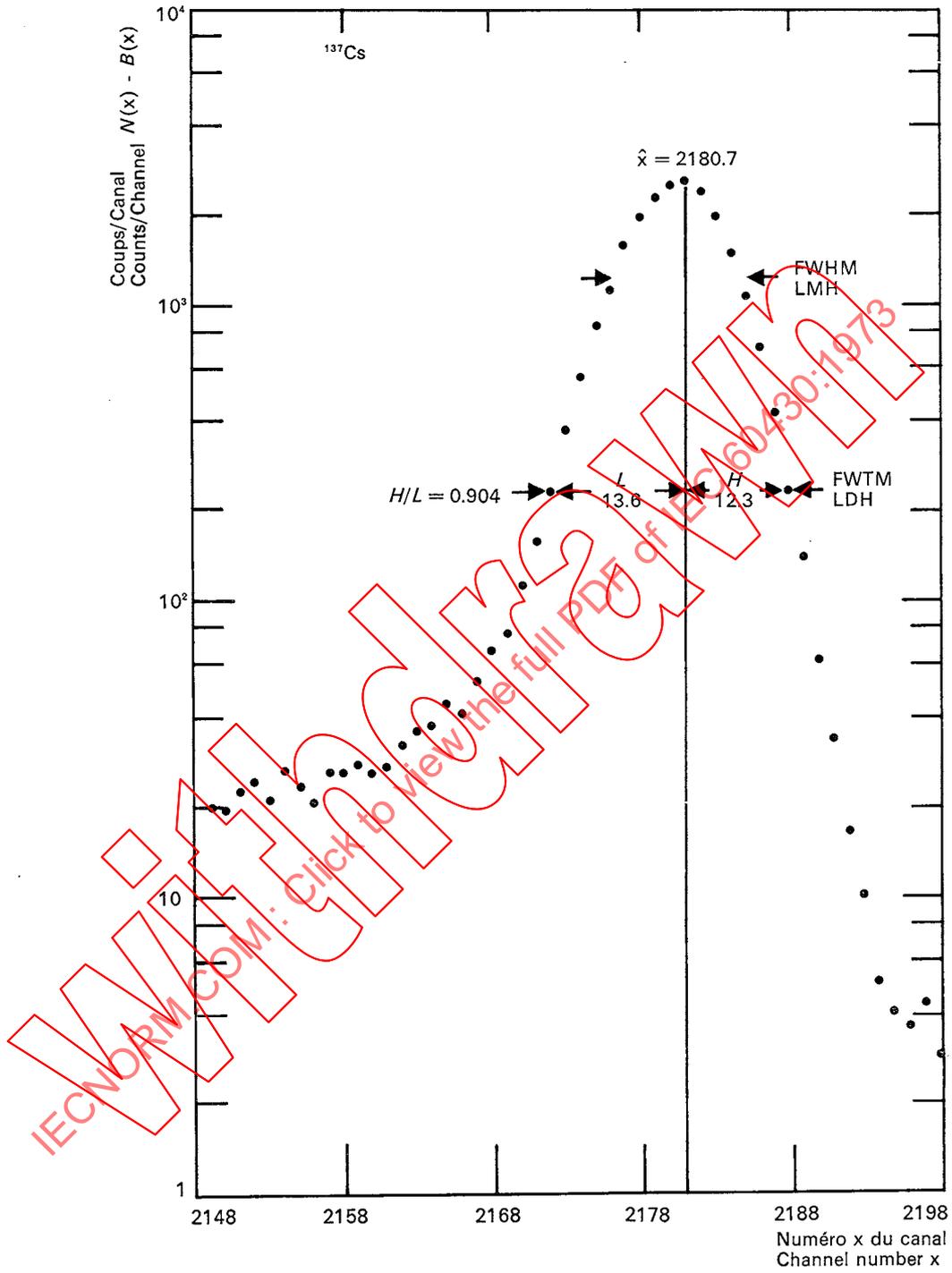
FIG. 4.4.1 — Spectre gamma du  $^{60}\text{Co}$  montrant la détermination du rapport pic-Compton.  
 $^{60}\text{Co}$  gamma-ray spectrum showing determination of peak-to-Compton ratio.



0096/73

FIG. 5.2.1 — Schéma fonctionnel d'un spectromètre gamma à semictEUR au 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.



0097/73

FIG. 5.3.1 — 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  $H/L$ .

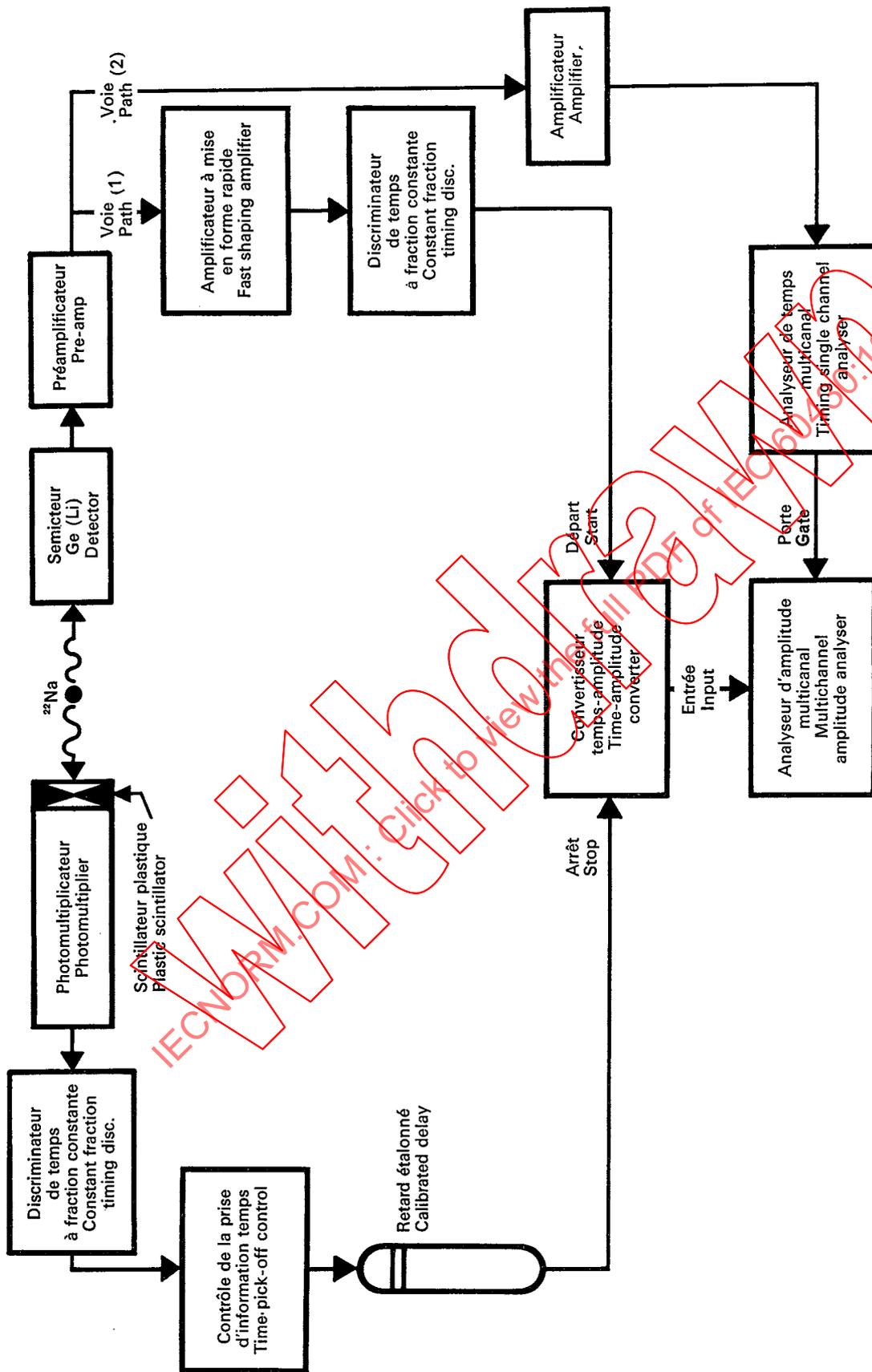


Fig. 7.1.1 — Mesure de la résolution en temps.  
Timing measurement.