

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
333**

Troisième édition
Third edition
1993-07

**Instrumentation nucléaire –
DéTECTEURS semiconducteurs pour particules
chargées – Méthodes d'essai**

**Nuclear instrumentation –
Semiconductor charged-particle detectors –
Test procedures**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 333: 1993

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 auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

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 from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
333**

Troisième édition
Third edition
1993-07

**Instrumentation nucléaire –
DéTECTEURS semiconducteurs pour particules
chargées – MéTHODES d'essai**

**Nuclear instrumentation –
Semiconductor charged-particle detectors –
Test procedures**

© CEI 1993 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

W

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application et objet	6
2 Références normatives	6
3 Prescriptions générales	6
4 Mesures de résolutions	10
4.1 Résolution des énergies	10
4.2 Résolution en temps	14
4.3 Localisation de l'impact, résolution et linéarité du détecteur à localisation	20
5 Mesure du bruit	26
5.1 Mesure du bruit par analyse de la distribution en amplitude des impulsions (méthode recommandée)	26
5.2 Mesure du bruit avec un oscilloscope et un voltmètre de valeur efficace	30
5.3 Mesure du bruit électronique sans le détecteur semiconducteur	32
5.4 Détermination de la contribution du détecteur au bruit et à la résolution	32
5.5 Largeur du bruit (LTMH) en fonction de l'index de mise en forme de l'amplificateur	34
6 Influence des conditions d'ambiance	34
6.1 Influence de la pression atmosphérique	36
6.2 Essais à cycle thermique sous vide	36
6.3 Essais mécaniques et d'ambiance	36
6.4 Sensibilité à la lumière	38
6.5 Mesure des dommages dus au rayonnement	38
7 Autres mesures	38
7.1 Caractéristiques courant-tension	38
7.2 Perte d'énergie dans la zone morte	40
7.3 Surface sensible	42
7.4 Epaisseur sensible (détecteur semiconducteur à transmission)	42
7.5 Caractéristiques capacité-tension	44
Annexes	
A Symboles et glossaire	46
B Informations générales sur la détection des particules chargées par détecteurs semiconducteurs	64
C Bibliographie	76

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope and object	7
2 Normative references	7
3 General requirements	7
4 Resolution measurements	11
4.1 Energy resolution	11
4.2 Time resolution	15
4.3 Position, resolution and linearity of a position-sensitive detector	21
5 Noise measurement	27
5.1 Noise measurement by pulse-height distribution (preferred method)	27
5.2 Noise measurement by oscilloscope and true root-mean-square voltmeter	31
5.3 Measurement of electronic noise with the detector removed	33
5.4 Determination of detector contribution to noise and resolution	33
5.5 Noise linewidth (FWHM) as a function of amplifier shaping time index	35
6 Sensitivity to ambient conditions	35
6.1 Atmospheric sensitivity	37
6.2 Vacuum thermal cycle test	37
6.3 Mechanical and environmental tests	37
6.4 Light sensitivity	39
6.5 Radiation damage measurements	39
7 Other measurements	39
7.1 Current-voltage characteristics	39
7.2 Dead layer energy loss	41
7.3 Sensitive area	43
7.4 Detector thickness (transmission detectors)	43
7.5 Capacitance-voltage characteristics	45
Annexes	
A Symbols and glossary	47
B General information concerning semiconductor charged-particle detectors	65
C Bibliography	76

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE – DÉTECTEURS SEMICONDUCTEURS POUR PARTICULES CHARGÉES – MÉTHODES D'ESSAI

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La Norme internationale CEI 333 a été établie par le comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 1983 et constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
45(BC)216	45(BC)226

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

Les annexes B et C sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**NUCLEAR INSTRUMENTATION –
SEMICONDUCTOR CHARGED-PARTICLE DETECTORS –
TEST PROCEDURES**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

International Standard IEC 333 has been prepared by IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 1983 and constitutes a technical revision.

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

DIS	Report on Voting
45(CO)216	45(CO)226

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

Annex A forms an integral part of this standard.

Annexes B and C are for information only.

INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE – DÉTECTEURS SEMICONDUCTEURS POUR PARTICULES CHARGÉES – MÉTHODES D'ESSAI

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale s'applique aux détecteurs semiconducteurs (détecteurs semiconducteurs) utilisés pour la détection et la spectrométrie à haute résolution des particules chargées. Les techniques de mesure décrites ont été choisies pour leurs facilités d'application par tous les fabricants et utilisateurs de détecteurs semiconducteurs pour particules chargées. Des techniques plus évoluées n'ont pas été retenues du fait de la complexité de leurs méthodes ou parce qu'elles font appel à un équipement (tel qu'un accélérateur de particules) difficilement disponible.

Le but de cette norme est d'établir des méthodes d'essais normalisées pour les détecteurs semiconducteurs de particules chargées. Ces détecteurs sont largement utilisés pour la détection et la spectrométrie à haute résolution de particules chargées. Il est souhaitable que des méthodes d'essais normalisées soient établies afin que les mesures puissent avoir la même signification pour tous les fabricants et utilisateurs.

La présente norme n'implique pas l'obligation d'effectuer tous les essais décrits. Elle suppose seulement que si de tels essais sont effectués, ils doivent être menés conformément aux méthodes indiquées.

2 Références normatives

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

CEI 50(391): 1975, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI), Chapitre 391: Détection et mesure par voie électrique des rayonnements ionisants*

CEI 340: 1979, *Méthodes d'essais des amplificateurs et préamplificateurs pour détecteurs semiconducteurs pour rayonnements ionisants*

CEI 759: 1983, *Méthodes d'essais normalisés des spectromètres d'énergie X à détecteurs semiconducteurs*

3 Prescriptions générales

Les prescriptions suivantes s'appliquent à tous les essais et mesures décrits ici:

3.1 Toutes les mesures devront être effectuées en plaçant le dispositif dans l'obscurité totale, sauf prescription contraire.

NUCLEAR INSTRUMENTATION – SEMICONDUCTOR CHARGED-PARTICLE DETECTORS – TEST PROCEDURES

1 Scope and object

This International Standard applies to semiconductor radiation detectors that are used for the detection and high-resolution spectroscopy of charged particles. The measurement techniques described have been selected to be readily available to all manufacturers and users of semiconductor charged-particle detectors. Some superior techniques are not included because the methods are too complex or require equipment (such as particle accelerators) that may not be readily available

The intent of the tests in this standard is to establish standard test procedures for semiconductor charged-particle detectors. These detectors are in widespread use for the detection and high-resolution spectroscopy of charged particles. It is desirable to maintain standard test procedures so that measurements may have the same meaning to all manufacturers and users.

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

2 Normative references

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

IEC 50(391): 1975, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 391: Detection and measurement of ionizing radiation by electric means*

IEC 340: 1979, *Test procedures for amplifiers and preamplifiers for semiconductor detectors for ionizing radiation*

IEC 759: 1983, *Standard test procedures for semiconductor X-ray energy spectrometers*

3 General requirements

The following requirements apply for all of the tests and measurements described herein:

3.1 All measurements shall be performed with the device in total darkness unless otherwise specified.

3.2 Les conditions d'ambiance devront être de 20 °C pour la température et inférieures à 10^{-4} Pa (10^{-6} mm Hg) pour la pression, sauf spécification contraire. (Dans le domaine de pression - de l'ordre de 10^{-2} à 10 Pa (10^{-4} à 10^{-1} mm Hg) - le dispositif peut ne pas être utilisable à cause des effluves. De même, certains détecteurs qui fonctionnent correctement à des pressions supérieures à 10^{-4} Pa (10^{-6} mm Hg) peuvent présenter des dégradations à des pressions inférieures à cette valeur.)

3.3 Les valeurs des paramètres mesurés devront être reproductibles dans le domaine spécifié de précision après l'exécution de l'un ou de la totalité des essais.

3.4 La source de polarisation du détecteur et les autres dispositifs d'essais (amplificateur, analyseur multicanal, etc.) ne devront pas avoir d'influence perceptible sur les mesures des paramètres du détecteur.

3.5 La tension maximale sur la jonction, le courant, les taux des flux de rayonnements et autres limites fixées par le constructeur ne doivent en aucun cas être dépassés, sans quoi il pourrait en résulter des altérations permanentes des caractéristiques du dispositif.

3.6 Confirmation doit être apportée que les sources radioactives utilisées ne contribuent pas à l'élargissement de la résolution (ceci peut particulièrement survenir avec les sources de particules alpha, par suite d'effets d'auto-atténuation et de vieillissement).

3.7 Toutes les valeurs relevées doivent correspondre à des conditions d'équilibre, à moins qu'elles ne soient clairement notées autrement.

3.8 Toutes les mesures doivent être effectuées et relevées conformément à l'éthique scientifique. Aucun changement dans la composition du système d'essai (par exemple substitution d'un préamplificateur ou d'un détecteur) ou des paramètres du système (par exemple modification du gain ou de la capacité équivalente du détecteur) ne doit être effectué sans nouvel étalonnage du système tout entier. Les résultats qui sont dus au changement de plus d'un paramètre doivent indiquer de façon explicite les effets de chacun de ces paramètres sur la mesure.

3.9 La tension de polarisation du détecteur doit être telle que le courant de fuite du détecteur à la température à laquelle les tests sont effectués ne provoque pas une chute de plus de 10 % de cette tension dans la résistance.

3.10 Lors de la présentation des résultats, on limitera le nombre de chiffres significatifs pour l'adapter au contexte de la mesure ou à l'usage qui en sera fait. Généralement deux ou trois chiffres significatifs conviennent. En l'absence d'une tolérance en plus/moins, le dernier chiffre est donné implicitement à $\pm 0,5$ de la colonne suivante, par exemple 1,35 implique $1,35 \pm 0,005$, ou une fourchette de 1,345 à 1,355.

3.2 The ambient conditions shall be 20 °C and a pressure of less than 10^{-4} Pa (10^{-6} mm Hg), unless otherwise specified. (Precautions should be taken when working in the pressure region 10^{-2} to 10 Pa (10^{-4} to 10^{-1} mm Hg) because of corona discharge. Also, some detectors that work satisfactorily at higher pressures may show degradation at pressures lower than 10^{-4} Pa (10^{-6} mm Hg).)

3.3 The values of the parameters measured shall be reproducible within the specified precision after the tests have been performed.

3.4 The detector bias supply and other test equipment (amplifier, multichannel analyzer, etc.) shall minimally influence the detector parameter measurements.

3.5 Maximum diode voltage, current, radiation flux ratings and other manufacturer-specified limits should not be exceeded or permanent changes of the device characteristics may result.

3.6 It shall be confirmed that radioactive sources used do not contribute to the resolution broadening. (This may occur especially with alpha particle sources due to self-attenuation and ageing effects.)

3.7 All data reported shall correspond to equilibrium conditions unless otherwise clearly noted.

3.8 All measurements shall be made and reported in accordance with proper scientific practice. No changes in test system components (for example, substituting a different preamplifier or detector) or changes in system parameters (for example, changing gain or equivalent detector capacitance) may 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.

3.9 The detector bias voltage shall be such that leakage current through the detector at the operating temperature of the tests causes no more than 10 % of the applied bias voltage to be lost in the resistor.

3.10 When performance data are presented, no more significant figures shall be given than fit the context of the measurements or the use to which they will be put. Usually, two or three significant figures are adequate. In the absence of a plus/minus tolerance, it is implied that the last figure is meaningful to $\pm 0,5$ in the next place, for example, 1,35 implies $1,35 \pm 0,005$, or the range from 1,345 to 1,355.

4 Mesures de résolutions

4.1 Résolution des énergies

La résolution d'un système détecteur à une énergie spécifique est déterminée par la mesure de la largeur à mi-hauteur (LTMH) du pic spectral. On utilise une source de rayonnement ionisant émettant une ou plusieurs raies remarquables.

Le détecteur est relié à un préamplificateur intégrateur (sensible à la charge), à un amplificateur principal et à un analyseur multicanal, comme le montre la figure 1. La forme de l'impulsion fournie par l'amplificateur doit être quasi gaussienne avec $t_{1/2}$ de 1 μ s. On peut utiliser d'autres formes, mais leurs caractéristiques doivent être clairement établies. Le générateur d'impulsions de précision doit être hors circuit lors de la mesure de la résolution d'un rayonnement ionisant.

Un spectre est correctement acquis lorsque la LTMH de son pic occupe au moins six canaux et que le comptage dans le canal du pic atteint au minimum 4 000 coups. Un autre pic, ou plus, permettant l'étalonnage en énergie devra se situer dans le spectre. Il peut être constitué par une raie d'énergie connue d'une source de rayonnement ionisant. Il peut être aussi une raie produite par un générateur d'impulsions de précision. La figure 2 montre un spectre type pour cette mesure.

La LTMH du pic est mesurée en canaux ΔN_S (interpolé). La position du canal du centre du pic peut être déterminée par la méthode décrite dans la section deux de la CEI 340. L'énergie E_1 du pic doit être connue et la position N_1 de son canal, relevée. Si un deuxième pic correspondant à l'énergie E_2 est connu, la LTMH en unités d'énergie est alors donnée par:

$$\text{LTMH} = \frac{E_1 - E_2}{N_1 - N_2} \Delta N_S \quad (1)$$

Si le pic correspondant à l'énergie E_2 est produit par un générateur d'impulsions de précision, on règle au moyen de son atténuateur l'amplitude V_{p1} de ses impulsions de sortie, de façon à obtenir dans l'analyseur multicanal un pic correspondant à une énergie connue E_1 située dans le canal N_1 . L'obtention d'un second pic est réalisée au moyen d'impulsions de tension V_{p2} . L'énergie correspondant à ce nouveau pic est donnée par $E_2 = V_{p2}(E_1/V_{p1})$. La valeur de E_2 peut alors être utilisée dans l'équation (1) pour déterminer la LTMH en unités d'énergie.

L'étalonnage en énergie peut aussi être réalisé par un réglage particulier des impulsions de sortie du générateur. Par exemple, l'atténuateur de sortie est réglé pour obtenir une valeur d'énergie multiple de E_1 . Ensuite, un deuxième atténuateur (réglage particulier) est ajusté jusqu'à ce que la tension de sortie soit V_{p1} . Cette tension est atteinte lorsque les impulsions de sortie donnent un pic dans le canal N_1 correspondant à l'énergie E_1 . L'atténuateur linéaire peut être alors réglé à la valeur choisie E_2 , et la tension de sortie sera V_{p2} . Il n'est pas nécessaire de connaître les valeurs réelles de V_{p1} et V_{p2} puisque leurs valeurs relatives sont données par réglage de l'atténuateur. Si cette méthode est employée, le générateur d'impulsions de précision doit avoir une non-linéarité intégrale de moins de 0,1 %.

4 Resolution measurements

4.1 Energy resolution

The resolution of a detector system at a specific energy is determined by measuring the full width at half maximum (FWHM) of a spectral peak. A source of ionizing radiation emitting one or more prominent lines is used.

The detector is connected to an integrating (charge-sensitive) preamplifier, main amplifier and multichannel analyzer as in figure 1. The amplifier pulse shaping shall be quasi-Gaussian with a $t_{1/2}$ of 1 μ s. Alternatively, other shaping may be used, but the shaping characteristics shall then be clearly stated. The precision pulse generator should be switched off when measuring the resolution for ionizing radiation.

A spectrum shall be acquired in which the peak to be measured has a FWHM of at least six channels and a channel count of at least 4 000 counts in the peak channel. At least one other peak should be located in the spectrum for the purpose of energy calibration. This may be a line of known energy from a source of ionizing radiation. Alternatively, it may be a line produced by a precision pulse generator. A typical spectrum for this measurement is shown in figure 2.

The FWHM of the peak is measured in channels ΔN_S (interpolated). The channel location of the peak centre can be determined by the method described in section two of IEC 340. The energy E_1 of the peak should be known and its channel location N_1 noted. If a second peak corresponding to energy E_2 is known, then the FWHM in energy units is given by:

$$\text{FWHM} = \frac{E_1 - E_2}{N_1 - N_2} \Delta N_S \quad (1)$$

If the peak corresponding to energy E_2 is produced by a precision pulse generator, then the pulse generator is calibrated by adjusting the attenuation of the output until pulses of voltage V_{p1} are shown to produce a peak of channel location N_1 on the multichannel analyzer. This is the same location as that of the peak of known energy E_1 . Then a second peak is generated using pulses of voltage V_{p2} . The energy corresponding to this peak is given by $E_2 = V_{p2}(E_1/V_{p1})$. The value of E_2 can then be used in equation (1) to find the FWHM in energy units.

Energy calibration may also be accomplished by appropriate normalization of the pulser output. For example, the linear attenuator output of the pulser is set to a multiple of the numerical value of the peak energy E_1 . Then a second (normalization) attenuator is adjusted until the output voltage is V_{p1} . This voltage is achieved when the output pulses produce a peak at channel location N_1 corresponding to energy E_1 . The linear attenuator may then be set to the desired value of E_2 , and the output voltage will be V_{p2} . The actual values of V_{p1} and V_{p2} do not need to be known since their relative values are given by the attenuator setting. If this method is employed, the precision pulse generator shall have an integral non-linearity of less than 0,1 %.

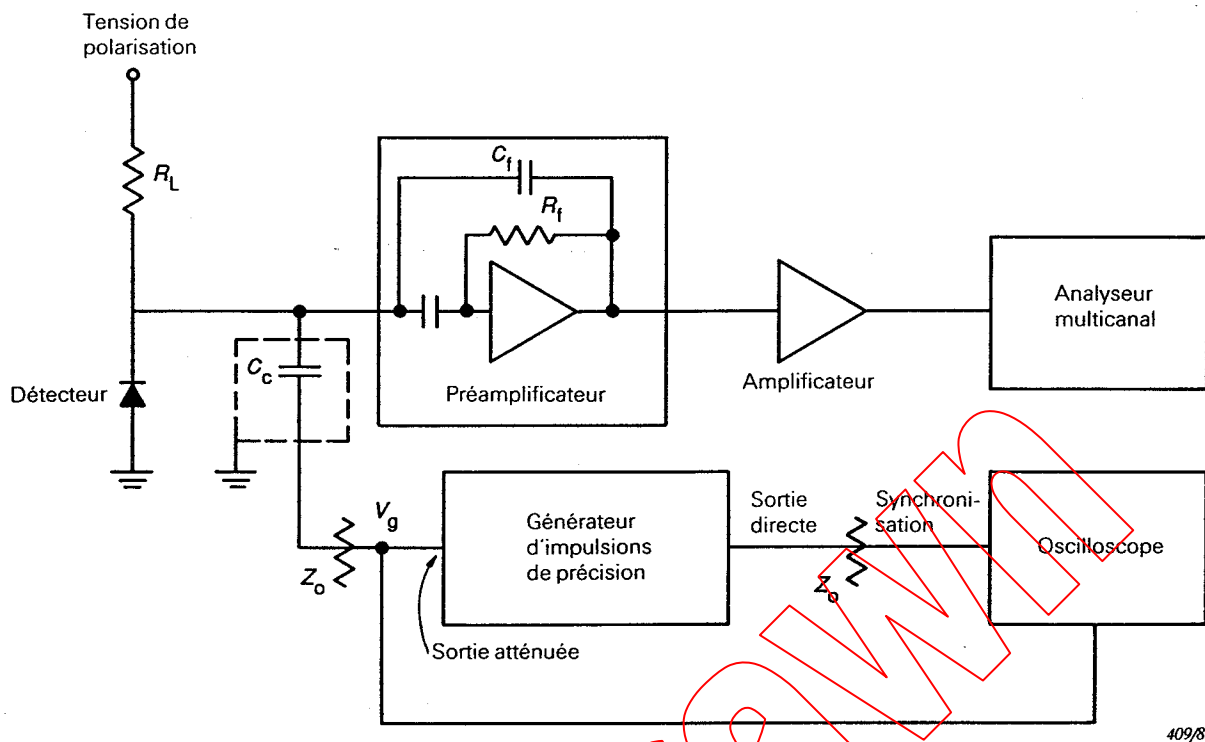


Figure 1 – Configuration du montage pour les mesures spectrales

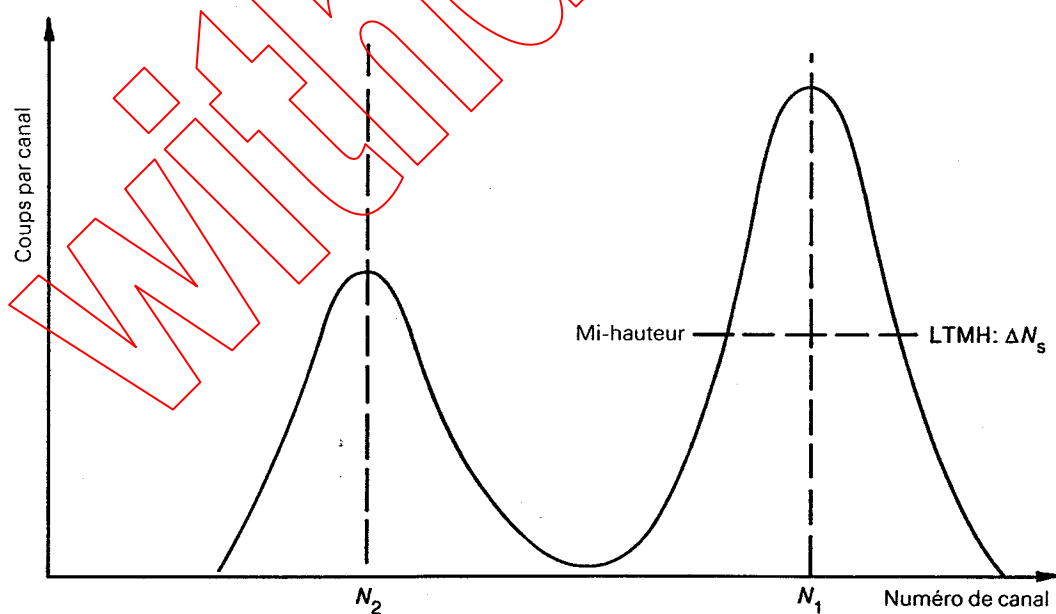
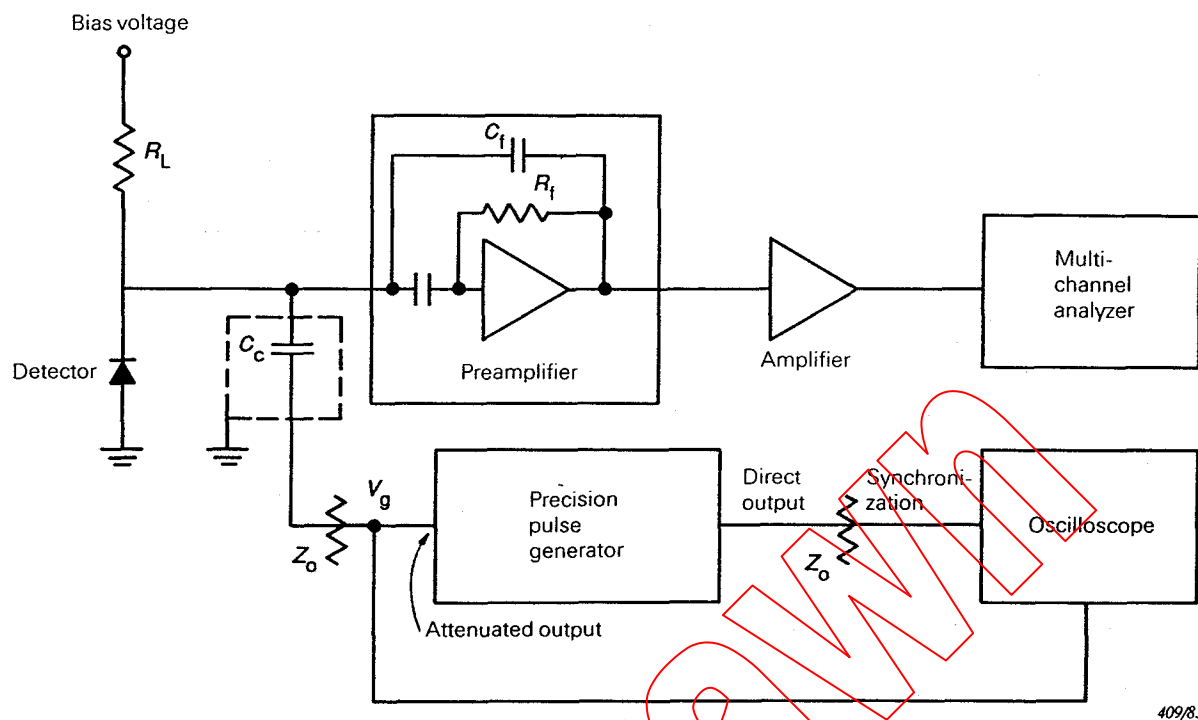
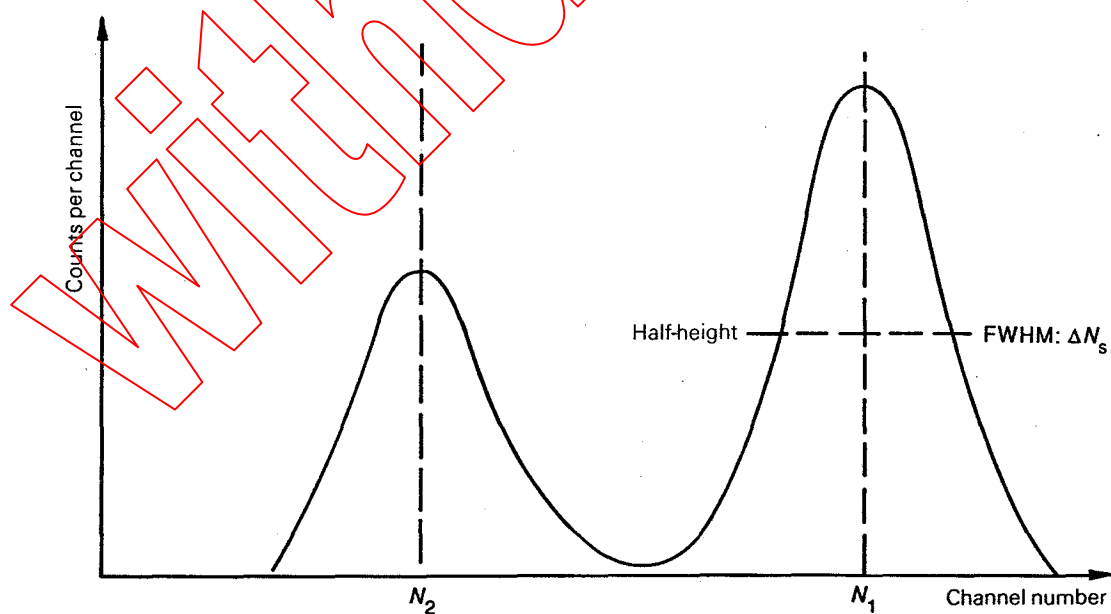


Figure 2 – Spectre type



409/83

Figure 1 – System configuration for spectral measurements



IEC 579/93

Figure 2 – A typical spectrum

Le recueil des informations concernant la résolution en énergie doit contenir les éléments suivants:

- 1) Type et énergie de la particule incidente.
- 2) Index de mise en forme ($t_{1/2}$) et type de forme d'impulsion utilisés (quasi gaussien, quasi triangulaire, ou autre).
- 3) Description détaillée du détecteur, y compris la surface active et la profondeur sensible.
- 4) LTMH du bruit de l'ensemble du système, le détecteur étant relié et en fonctionnement.
- 5) Conditions de fonctionnement du détecteur (polarisation, température, environnement).
- 6) Résistance de polarisation du détecteur.
- 7) Configuration détecteur-source, y compris désignation du côté où pénètre le rayonnement incident.
- 8) Taux de comptage.
- 9) Méthode utilisée pour déterminer la position du canal du centre du pic et la LTMH en fraction de canaux.

4.2 Résolution en temps

La méthode de mesure indiquée ici est recommandée pour sa commodité et sa reproductibilité. Au lieu de particules chargées, qui constituent la source de signal habituelle pour ce type de mesure, on utilise une impulsion lumineuse fournie par un générateur à diode laser (GDL). (Les effets de plasma dus aux particules chargées et la dispersion spatiales des charges pour des longs parcours peuvent dégrader la résolution temporelle. Dans certaines applications, la dispersion des temps de montée résultant de ces effets prédomine dans la résolution temporelle observée.)

Un système de mesure à coïncidence est représenté sur la figure 3. Le GDL fournit l'impulsion de départ pour le CTA et le signal de sortie généré par le détecteur déclenche le signal d'arrêt. Un spectre de la dispersion en temps est stocké dans l'analyseur multicanal. Dans la chaîne entre détecteur et CTA se trouvent un préamplificateur rapide, un amplificateur rapide de mise en forme et un discriminateur à fraction constante dans lequel celle-ci est réglée à 20 % et le retard à $1,1 t_r$ (10 % à 90 %). Il est conseillé de régler les temps de mise en forme pour optimiser les performances temporelles. Généralement l'optimum est obtenu lorsqu'aucune intégration n'est utilisée et que la constante de temps de différentiation est légèrement supérieure au temps de montée du signal à la sortie du préamplificateur. Le système comporte aussi un amplificateur de mise en forme qui déclenche l'analyseur multicanal, permettant de choisir des bandes d'énergie.

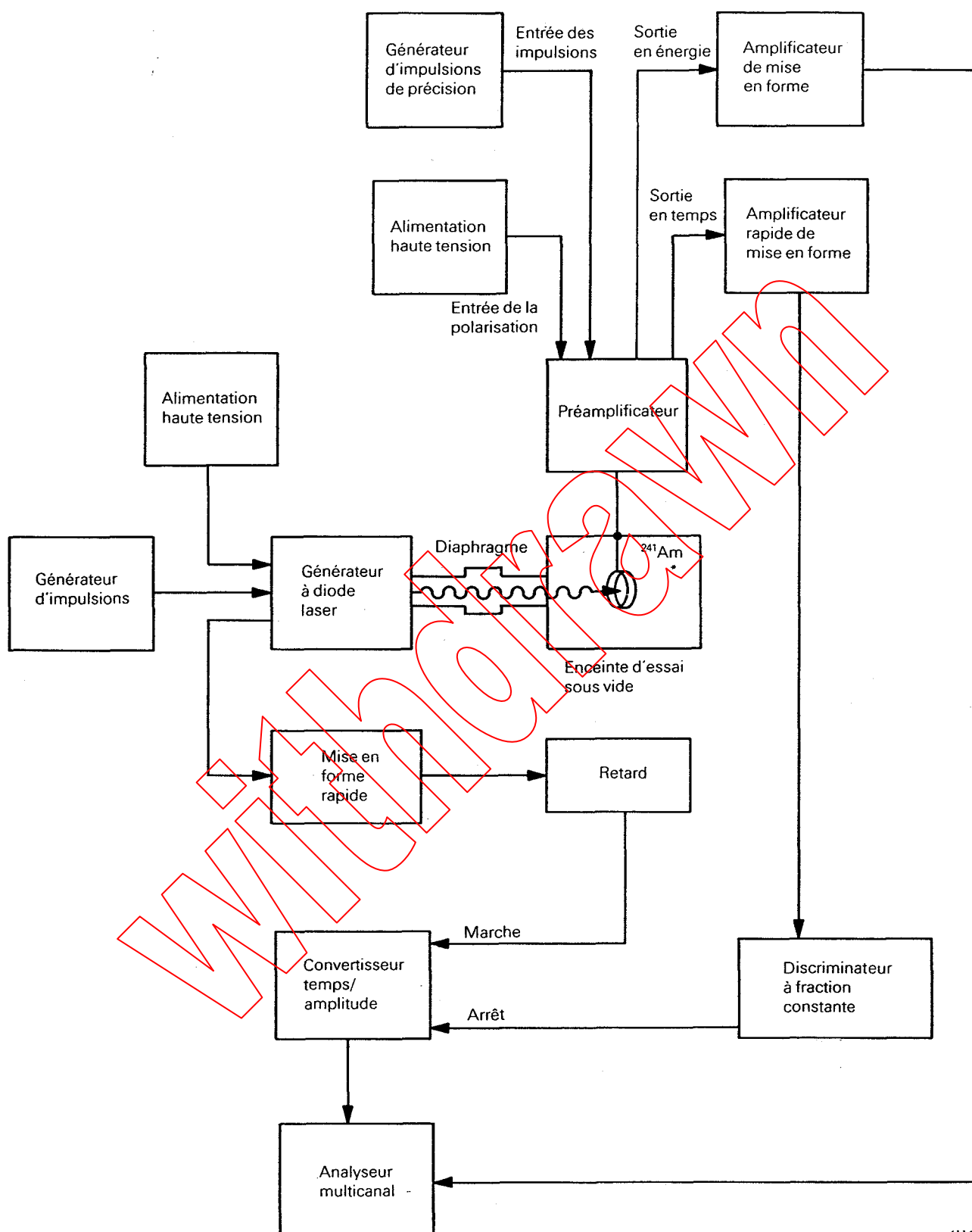
In recording information on energy resolution, the following shall be noted:

- 1) Incident particle type and energy.
- 2) Amplifier pulse shaping index ($t_{1/2}$) and type of pulse shaping utilized (quasi-Gaussian, quasi-triangular, or other).
- 3) Detailed description of the detector including active area and sensitive depth.
- 4) System noise FWHM with the detector connected and operating.
- 5) Detector operating conditions (bias, temperature, ambient atmosphere).
- 6) Detector bias resistor.
- 7) Detector-source geometry, including identification of detector face on which the radiation is incident.
- 8) Count rate.
- 9) Procedure used in determining channel location and FWHM in fractional channels.

4.2 Time resolution

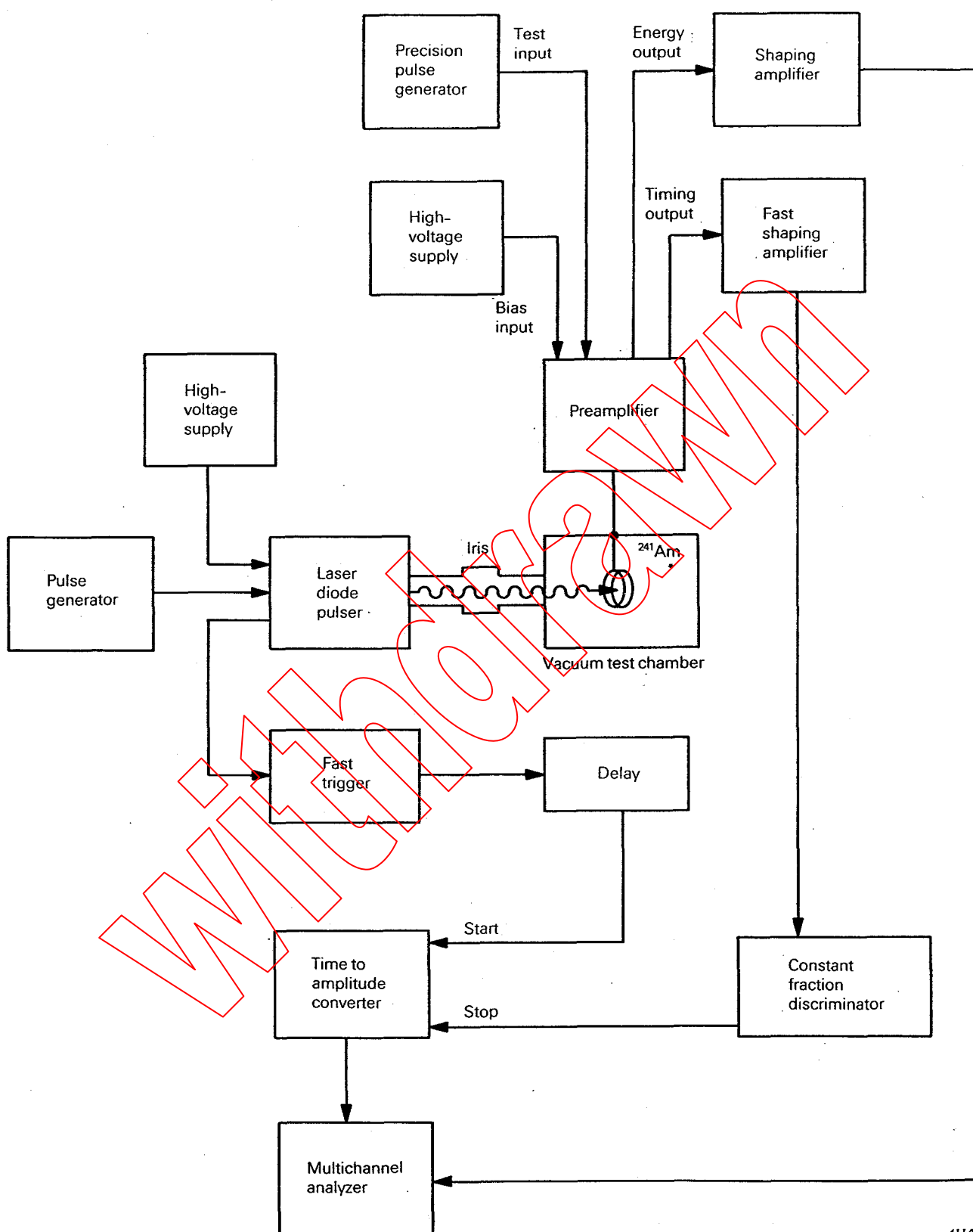
The measurement technique given here is recommended for its convenience and reproducibility. Instead of charged particles, which is the usual signal source for measurements of this type, a light pulse from a laser diode pulser (LDP) is used. (Plasma effects accompanying charged particles and the spatial dispersion of long tracks may degrade the time resolution. In some applications, the rise time dispersion from these effects may dominate the observed time resolution.)

A coincidence measuring system is shown in figure 3. The LDP furnishes the start pulse for the TAC, and the output signal initiated by the detector triggers the stop signal. A spectrum of time dispersion is accumulated in the MCA. In the chain between the detector and the TAC is a fast preamplifier, a fast shaping amplifier, and a constant-fraction discriminator in which the fraction is set at 20 % and the delay at $1,1 t_r$ (10 % – 90 %). Shaping times should be adjusted to optimize the timing performance. Usually, the optimum occurs when no integration is used and when the differentiation time constant is somewhat greater than the rise time of the signal from the preamplifier. Also in the system is a shaping amplifier that gates the MCA, allowing the selection of energy bands.



411/83

Figure 3 – Dispositif de mesure du temps de résolution



411/83

Figure 3 – Time resolution measurement system

L'énergie équivalente des impulsions lumineuses du GDL doit être connue. On utilise une chambre à vide dans laquelle le détecteur peut tourner pour présenter sa face sensible soit au GDL soit à une source du ^{241}Am . La précision du générateur d'impulsions est préalablement étalonnée pour la raie α de 5,486 MeV du ^{241}Am . Ensuite, on choisit l'énergie du générateur d'impulsions et le GDL est réglé pour fournir un signal de même amplitude. Habituellement, on effectue de nombreuses mesures de temps dans des gammes d'énergie s'étendant de ~ 1 MeV à ~ 100 MeV. Le générateur d'impulsions de précision est mis hors circuit pendant la mesure de temps.

Par cette méthode, on doit obtenir un pic d'une LTMH d'au moins six canaux et avec au moins 4 000 coups dans le canal central. En variante, si un ajustement de la courbe par ordinateur est utilisé, une détermination de la LTMH à $\pm 5\%$ (niveau de confiance de 90 %) est acceptable.

Après avoir calibré l'axe des temps avec au moins deux retards étalonnés, les LTMH et LT0,1H doivent être mesurées et exprimées en nanosecondes. Des mesures à trois valeurs d'énergie ou plus s'étendant de ~ 1 MeV à ~ 100 MeV, obtenues en réglant le générateur d'impulsions (figure 3), sont recommandées. (On peut utiliser une soustraction quadratique pour déterminer la résolution en temps du détecteur lui-même à partir de la résolution en temps du système que l'on a préalablement mesurée.) Les paramètres suivants doivent être notés pour chaque mesure.

- 1) Caractéristiques spectrales de l'impulsion lumineuse.
- 2) Tension de polarisation du détecteur.
- 3) Affichage du discriminateur à fraction constante et constante de temps de la mise en forme.
- 4) Temps de différentiation et temps de montée de l'amplificateur rapide de mise en forme.

4.2.1 Temps de montée électrique du détecteur

En utilisant le montage de la figure 4, on applique une succession d'échelons de tension de valeur V_p . La valeur de V_p ne doit pas dépasser le dixième de la tension de la bande interdite ou de la tension de polarisation, la plus petite des deux valeurs étant applicable. La différence quadratique entre le temps de montée du signal de sortie du préamplificateur et le détecteur connecté et le temps de montée du préamplificateur seul est définie comme étant le temps de montée électrique du détecteur.

4.2.2 Temps de collection des charges

La mesure directe du temps de collection des charges t_c pour les porteurs de charges de même signe dans des détecteurs relativement «lents» peut être effectuée en utilisant une source monoénergétique de particules de faible parcours et en observant directement l'impulsion de signal à la sortie de préamplificateur sensible à la charge. Si le temps de montée entre 10 % et 90 % de l'impulsion de sortie est t_0 , alors que le temps de montée correspondant aux impulsions du générateur de précision est t_m , le temps de collection des charges est donné par:

$$t_c = \sqrt{t_0^2 - t_m^2} \quad (2)$$

The equivalent energy of the light pulses from the LDP shall be known. A vacuum chamber is used in which the detector may be rotated to face either the LDP or a ^{241}Am source. The precision pulse generator is first calibrated for the 5,486 MeV α line of ^{241}Am . Then the desired energy is selected with the pulser, and the LDP adjusted to produce the same signal amplitude. Typically, several timing measurements are made at energies ranging from ~1 MeV to ~100 MeV. The precision pulser output should be off while the timing measurement is being made.

Using this method, a timing peak should be obtained with an FWHM of at least six channels, and with at least 4 000 counts contained in the peak channel. Alternatively, if computer curve-fitting is used, determination of the FWHM within $\pm 5\%$ (90 % confidence level) is adequate.

After calibrating the time axis with at least two calibrated delays, the FWHM and FW.1M shall be measured and stated in units of nanoseconds. Measurements at three or more energies ranging from ~1 MeV to ~100 MeV, as obtained by adjustment of the pulse generator (figure 3), are recommended. (Quadratic subtraction can be used to determine the time resolution of the detector itself from the system time resolution that is measured.) The following parameters shall be stated for each measurement:

- 1) Spectral characteristics of the pulsed light.
- 2) Detector bias voltage.
- 3) Constant-fraction discriminator setting and shaping time delay.
- 4) Differentiation time and rise time of the fast shaping amplifier.

4.2.1 *Detector electrical rise time*

Using the apparatus of figure 4, a series of steps of V_p volts is applied to the detector. The value of V_p shall not exceed one-tenth of the band-gap voltage, or one-tenth of the bias voltage, whichever is the smaller. The quadratic difference between the rise time of the pre-amplifier output signal with the detector connected and the preamplifier rise time is defined as the electrical rise time.

4.2.2 *Charge collection time*

Direct measurement of charge collection time t_c for one sign of charge carrier in relatively "slow" detectors can be made by using a monoenergetic source of short-range particles and observing the signal pulse directly at the output of a charge-sensitive preamplifier. If the observed 10 % to 90 % output pulse rise time is t_o , while the rise time observed by injecting pulses into the preamplifier input from a precision pulse generator is t_r , then the detector charge collection time is given by:

$$t_c = \sqrt{t_o^2 - t_r^2} \quad (2)$$

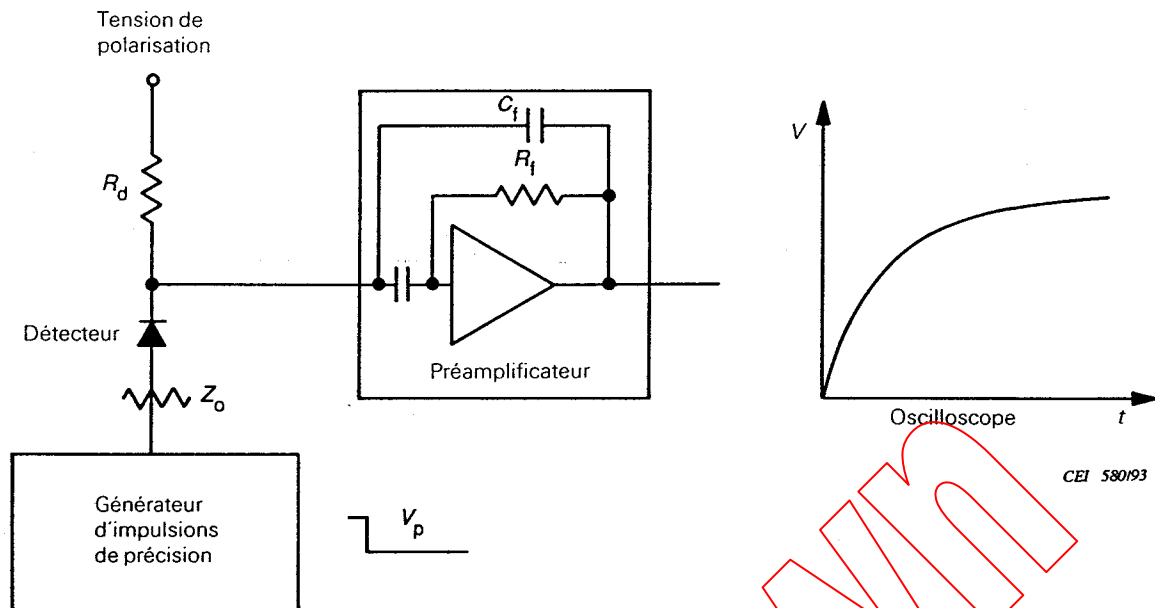


Figure 4 – Mesure du temps de montée électrique du détecteur

Pour que cette mesure soit significative, t_o et t_m doivent différer d'au moins 20 %.

La réponse pour les détecteurs rapides est plus facile à mesurer en utilisant un accélérateur ou une source de lumière à impulsions rapides pour y produire un grand nombre de paires électron-trou; l'observation des impulsions de courant résultantes peut être directement effectuée sur un oscilloscope à échantillonnage.

Dans les deux cas, il est essentiel de déterminer le temps de montée électrique des détecteurs par des mesures séparées (voir 4.2.1) et de faire la distinction entre son effet et celui qui est dû au mouvement des porteurs de charge dans la zone désertée.

Les relevés du temps de collection des charges doivent préciser la nature du rayonnement incident, son orientation et sa position, ainsi que le temps de montée de l'amplificateur.

4.3 Localisation de l'impact, résolution et linéarité du détecteur à localisation

La figure 5, montre un détecteur à localisation d'impact de type courant. Ce détecteur possède un contact de résistivité relativement élevée dont une extrémité est mise à la masse et l'autre reliée à l'entrée d'un préamplificateur. Le contact résistif agit comme un diviseur de courant et il en résulte que la hauteur de l'impulsion de sortie est proportionnelle à la distance entre le point d'impact et l'extrémité mise à la masse. La tension de polarisation est appliquée au contact opposé, sur la face arrière.

Les deux mesures, de position et énergie, concernant ce type de détecteur peuvent être effectuées en utilisant le montage indiqué par la figure 6, (méthode recommandée) ou un montage équivalent. On peut aussi utiliser des diviseurs analogiques d'impulsions du commerce. Il est conseillé d'optimiser les réglages des index de mise en forme. Le montage, utilisé doit pouvoir effectuer simultanément les mesures de position et d'énergie. Ceci est indispensable car un montage mesurant uniquement l'énergie peut renseigner utilement sur la qualité du détecteur mais n'est pas entièrement représentatif de ses performances.

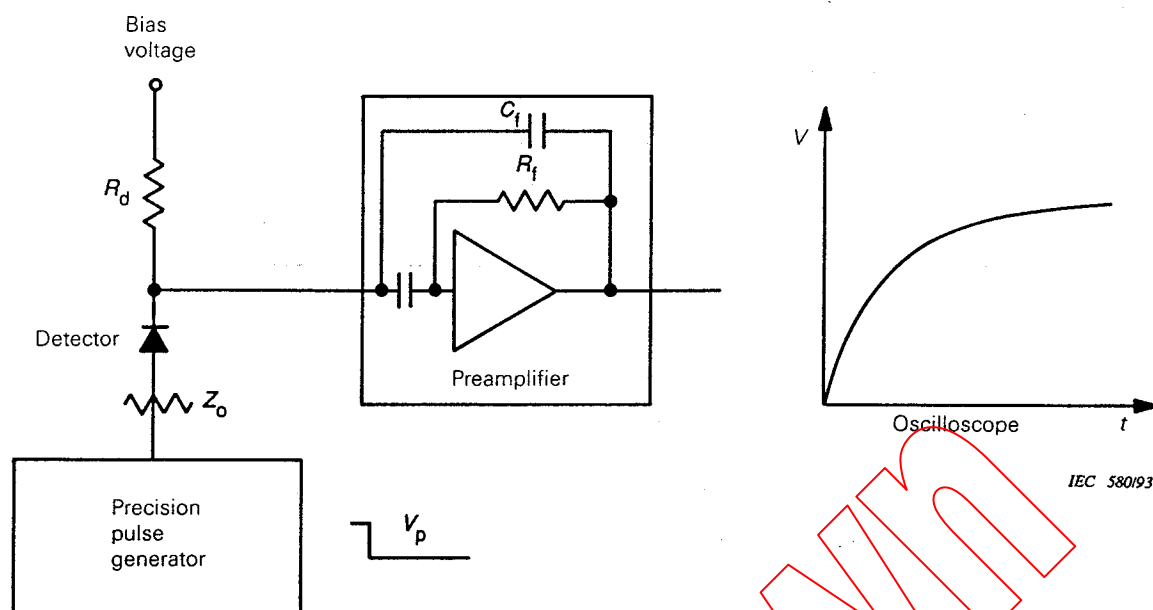


Figure 4 – Detector electrical rise time measurement

For this measurement to be significant, t_0 and t_f shall differ by at least 20 %.

The response of a fast detector is most easily measured by using a fast pulsed accelerator or a fast pulsed light source to generate a large number of hole-electron pairs in a detector. The resulting current pulse is directly monitored with a sampling oscilloscope.

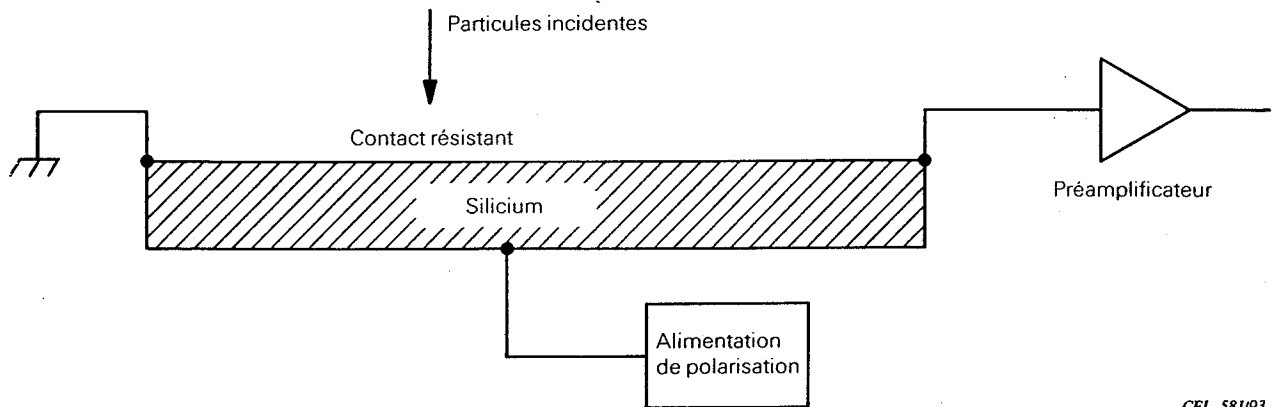
In either case, it is essential to determine the detector electrical rise time (see 4.2.1) by separate measurements and to distinguish its effect from that due to carrier motion in the depletion layer.

Charge-collection-time data shall include details of the nature of the incident radiation, track orientation and position and amplifier rise time.

4.3 Position, resolution and linearity of a position-sensitive detector

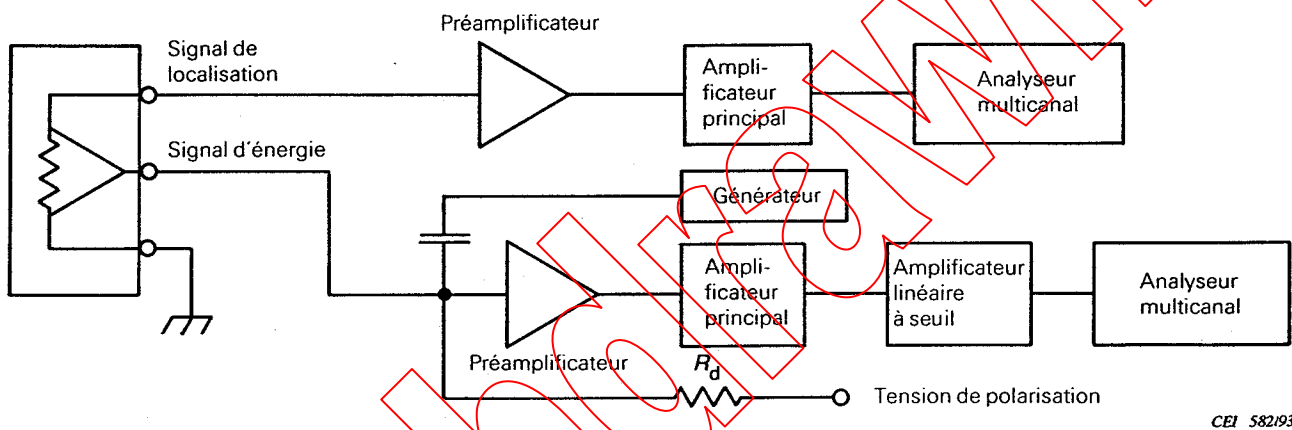
One common type of position-sensitive detector is shown in figure 5. This detector has one contact of relatively high resistivity, with one end grounded and the other end connected to a preamplifier input. The resistive contact acts as a current divider, and as a result, the output pulse height is proportional to the distance of the position of impact from the grounded end of the detector. Bias voltage is applied to the contact on the rear surface.

Both position and energy measurements for this type of detector should be made using the system shown in figure 6 (preferred method), or an equivalent system. As an alternative, commercially available analogue pulse dividers may be used. Shaping-index settings should be optimized. The system used shall be capable of simultaneously measuring position and energy. This is required since an energy-only system may provide a useful measurement of the detector quality, but it is not fully representative of the detector performance.



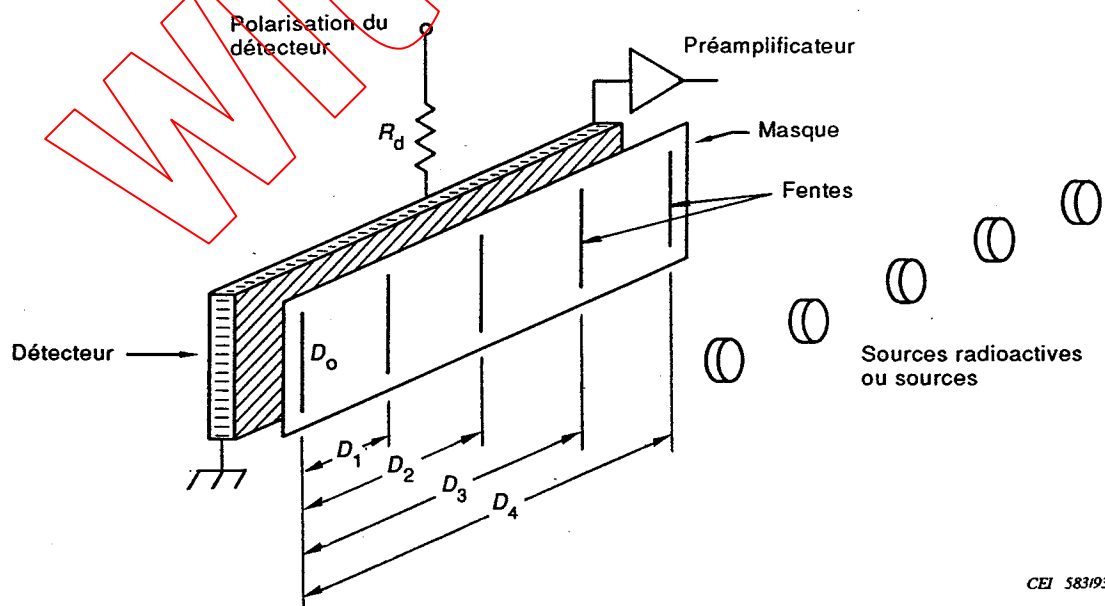
CEI 581/93

Figure 5 – Détecteur à localisation d'impact



CEI 582/93

Figure 6 – Système de mesure pour un détecteur à localisation d'impact



CEI 583/93

Figure 7 – Appareillage pour les mesures d'impact