

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61151

Première édition
First edition
1992-08

**Instrumentation nucléaire –
Amplificateurs et préamplificateurs utilisés
avec des détecteurs de rayonnements ionisants –
Méthodes d'essais**

**Nuclear instrumentation –
Amplifiers and preamplifiers
used with detectors of ionizing radiation –
Test procedures**

© IEC 1992 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XC**

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	10
INTRODUCTION	12
Articles	
1 Généralités	14
1.1 Domaine d'application et objet	14
1.2 Références normatives	14
1.3 Définitions particulières	16
1.4 Symboles et abréviations	26
1.5 Constantes et facteurs de conversion	30
2 Spectromètre	32
2.1 Détecteurs	32
2.1.1 Signal du détecteur	34
2.1.2 Temps de montée et temps de descente	36
2.2 Préamplificateur	36
2.3 Amplificateur principal (amplificateur de mise en forme)	38
2.4 Amplificateur à seuil	40
2.5 Analyseur multicanal	40
3 Appareils d'essais	42
3.1 Montage d'essai	42
3.1.1 Précision des appareils d'essais	42
3.1.2 Précision des mesures	44
3.2 Générateurs d'impulsions	44
3.2.1 Générateur d'impulsions, essais du préamplificateur	44
3.2.2 Générateur d'impulsions, essais de l'amplificateur principal	46
3.3 Atténuateur à pas (à échelons)	46
3.3.1 Adaptation terminale de l'atténuateur	46
3.4 Boîtier de condensateur	48
3.5 Amplificateur de mise en forme	48
3.6 Voltmètre alternatif	48
3.7 Oscilloscope	48
3.8 Pont de non-linéarité	50
3.9 Etalonnage de l'oscilloscope par rapport au générateur	52
4 Mesures et spécifications relatives à l'amplificateur principal	52
4.1 Paramètres de mise en forme	52
4.1.1 Terminologie du panneau avant, mise en forme unipolaire	54

CONTENTS

	Page
FOREWORD	11
INTRODUCTION	13
Clause	
1 General	15
1.1 Scope and object	15
1.2 Normative references	15
1.3 Specialized definitions	17
1.4 Symbols and abbreviations	27
1.5 Constants and conversion factors	31
2 Spectrometer	33
2.1 Detectors	33
2.1.1 Detector signal	35
2.1.2 Rise time and fall time	37
2.2 Preamplifier	37
2.3 Main amplifier (shaping amplifier)	39
2.4 Biased amplifier	41
2.5 Multichannel analyzer	41
3 Test instruments	43
3.1 Test set-up	43
3.1.1 Test instrument accuracy	43
3.1.2 Measurement accuracy	45
3.2 Pulse generators	45
3.2.1 Pulse generator, preamplifier tests	45
3.2.2 Pulse generator, main amplifier tests	47
3.3 Step attenuator	47
3.3.1 Attenuator termination	47
3.4 Capacitor box	49
3.5 Shaping amplifier	49
3.6 A.C. voltmeter	49
3.7 Oscilloscope	49
3.8 Nonlinearity bridge	51
3.9 Oscilloscope/generator calibration	53
4 Main amplifier measurements and specifications	53
4.1 Pulse-shape parameters	53
4.1.1 Front panel nomenclature, unipolar shaping	55

4.1.2	Terminologie du panneau avant, mise en forme bipolaire	56
4.2	Largeur d'impulsion	56
4.3	Restitution après surcharge	56
4.3.1	Temps de restitution après surcharge, unipolaire	58
4.3.2	Temps de restitution après surcharge, bipolaire	60
4.3.3	Blocage (paralyse)	60
4.3.4	Artefacts de la ligne de base	62
4.4	Etalonnage de la commande de réglage du gain et mesure du gain de l'amplificateur principal	62
4.4.1	Etalonnage du gain principal (grossier)	62
4.4.2	Etalonnage du gain fin	64
4.5	Mesure du bruit	64
4.6	Gain de transition du bruit	64
4.7	Domaine de compensation pôle/zéro	66
4.8	Non-linéarité	66
4.9	Résistance interne	70
4.10	Sensibilité à la température	74
4.11	Sensibilité à la tension d'alimentation	74
4.12	Fluctuation du temps de recouvrement	74
5	Mesures relatives au préamplificateur	76
5.1	Sensibilité à la charge	78
5.1.1	Sensibilité à la charge en fonction de la capacité	78
5.1.2	Sensibilité à la charge en fonction de la capacité, méthode de l'AMC ...	78
5.1.3	Sensibilité à la charge en fonction de la capacité, méthode de l'équilibre de pont	80
5.1.4	Spécifications relatives à la sensibilité à la charge en fonction de la capacité	80
5.2	Valeur de la capacité d'injection-test interne	80
5.3	Temps de montée en fonction de la capacité	80
5.4	Bruit, préamplificateurs	82
5.4.1	Mesure du bruit, préamplificateurs pour détecteurs en germanium	82
5.4.2	Mesure du bruit, préamplificateurs pour détecteurs en silicium	84
5.4.3	Bruit, unités de charge équivalente efficace et nombre de paires d'ions équivalent efficace	84
5.4.4	Correction relative au bruit de l'amplificateur principal	84
5.5	Non-linéarité du préamplificateur	86
5.6	Produit énergie x taux de comptage (PETC)	88
5.6.1	Détermination de C_r	90
5.6.2	Détermination du produit $R_r C_r$	90
5.6.3	Limite du taux de comptage, préamplificateur à liaison continue	94
5.6.4	Limite du taux de comptage, préamplificateur à liaison capacitive	94
6	Mesures relatives à un amplificateur à seuil	98
6.1	Non-linéarité, amplificateur à seuil	98

4.1.2	Front panel nomenclature, bipolar shaping	57
4.2	Pulse width	57
4.3	Overload recovery	57
4.3.1	Overload recovery time, unipolar	59
4.3.2	Overload recovery time, bipolar	61
4.3.3	Blocking (paralysis)	61
4.3.4	Baseline artifacts	63
4.4	Gain control calibration and main amplifier gain measurement	63
4.4.1	Coarse gain calibration	63
4.4.2	Fine gain calibration	65
4.5	Noise measurement	65
4.6	Noise transition gain	65
4.7	Pole/zero range	67
4.8	Nonlinearity	67
4.9	Source resistance	71
4.10	Temperature sensitivity	75
4.11	Supply voltage sensitivity	75
4.12	Crossover walk	75
5	Preamplifier measurements	77
5.1	Charge sensitivity	79
5.1.1	Charge sensitivity versus capacitance	79
5.1.2	Charge sensitivity versus capacitance, MCA method	79
5.1.3	Charge sensitivity versus capacitance, bridge balance method	81
5.1.4	Charge sensitivity versus capacitance specifications	81
5.2	Size of the internal test capacitor	81
5.3	Rise time versus capacitance	81
5.4	Noise, preamplifiers	83
5.4.1	Noise, preamplifiers for germanium detectors	83
5.4.2	Noise, preamplifiers for silicon detectors	85
5.4.3	Noise, units of equivalent r.m.s., charge and equivalent r.m.s. ion pairs	85
5.4.4	Correction for main amplifier noise	85
5.5	Preamplifier nonlinearity	87
5.6	Energy x count-rate product (ECRP)	89
5.6.1	Determination of C_f	91
5.6.2	Determination of $R_f C_f$	91
5.6.3	Count-rate limit, d.c.-coupled preamplifier	95
5.6.4	Count-rate limit, a.c.-coupled preamplifier	95
6	Biased amplifier measurements	99
6.1	Nonlinearity, biased amplifier	99

ANNEXES

A	Spectromètre	104
B	Appareils d'essais	116
C	Mesures et spécifications relatives à l'amplificateur principal	132
D	Mesures relatives au bruit du préamplificateur	146
E	Mesures relatives à l'amplificateur à seuil	152
F	Bibliographie	154

FIGURES

1	Spectromètre	32
2	Résolution en énergie en fonction de $t_{1/2}$	38
3	Montage d'essai	42
4	Oscillogramme d'équilibre de pont	50
5	Impulsions unipolaires et bipolaires	54
6	Bruit à la sortie de l'amplificateur en fonction du réglage du gain	66
7	Caractéristique dynamique illustrant la non-linéarité intégrale	68
8	Mesure de la résistance interne r_o	72
9	Montage d'essai pour la mesure de la non-linéarité différentielle d'un préamplificateur	86
10	Courbes de décroissance exponentielle	92
11	Montage pour la mesure de la non-linéarité d'un amplificateur à seuil	100
A.1a	Préamplificateur de tension	104
A.1b	Préamplificateur sensible à la charge	104
A.2	Réponses à la fonction échelon des circuits de mise en forme, échelle linéaire	112
A.3	Réponses à la fonction échelon des circuits de mise en forme, échelle semi-logarithmique	114
B.1	Générateur d'impulsions à long front de descente, avec un relais comme élément de commutation	116
B.2	Pont de capacité	120
B.3	Montage d'essai pour étalonnage de C_c	120
B.4	Entrée test d'un préamplificateur	122
B.5	Pont de non-linéarité avec amplificateur	128
C.1	Influence de la compensation pôle/zéro sur la restitution du signal	132
C.2	Montage d'essai pour la mesure du déplacement dû à l'atténuateur	142
E.1	Amplificateur à seuil de référence pour mesure de la non-linéarité	152

ANNEXES

A	Spectrometer	105
B	Test instruments	117
C	Main amplifier measurements and specifications	133
D	Preamplifier noise measurements	147
E	Reference biased amplifier	153
F	Bibliography	154

FIGURES

1	Spectrometer	33
2	Energy resolution versus $t_{1/2}$	39
3	Test set-up	43
4	Oscillogram of bridge balance	51
5	Unipolar and bipolar pulses	55
6	Output noise versus gain setting	67
7	Dynamic characteristic illustrating integral nonlinearity	69
8	Measurement of source resistance r_o	73
9	Test set-up for measuring preamplifier differential nonlinearity	87
10	Curves of exponential decay	93
11	Test set-up for measuring nonlinearity of a biased amplifier	101
A.1a	Voltage-sensitive preamplifier	105
A.1b	Charge-sensitive preamplifier	105
A.2	Step function responses of pulse shaping networks, linear scale	113
A.3	Step function responses of pulse shaping networks, semilog scale	115
B.1	Tail pulse generator with a relay as the switching element	117
B.2	Capacitance bridge	121
B.3	Test set-up for calibrating C_c	121
B.4	Test input to a preamplifier	123
B.5	Nonlinearity bridge with amplifier	129
C.1	Effect of pole/zero compensation on pulse recovery	133
C.2	Test set-up for measuring attenuator walk	143
E.1	Reference biased amplifier for nonlinearity measurement	153

TABLEAUX

A.1	Comparaison (approximative) des paramètres dans les préamplificateurs de tension et les préamplificateurs sensibles à la charge	106
A.2	Circuits de mise en forme, facteur de mérite et paramètres de durée d'impulsion	112

TABLES

A.1	Parameter proportionalities (approximate) in voltage-sensitive and charge-sensitive preamplifiers	107
A.2	Pulse shaping networks, figures of merit and pulse width parameters	113

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE –
AMPLIFICATEURS ET PRÉAMPLIFICATEURS
UTILISÉS AVEC DES DÉTECTEURS DE
RAYONNEMENTS IONISANTS – MÉTHODES D'ESSAIS**

AVANT-PROPOS

- 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.
- 4) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand il est déclaré qu'un matériel est conforme à l'une de ses recommandations.

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

Cette norme annule et remplace la deuxième édition de la CEI 340, parue en 1979. Par rapport à la deuxième édition de la CEI 340, le titre a été modifié car les mêmes amplificateurs, utilisés pour les détecteurs semi-conducteurs, sont applicables à d'autres types de détecteurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
45(BC)206	45(BC)214

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

Les annexes A à E font partie intégrante de la présente Norme internationale.

L'annexe F est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**NUCLEAR INSTRUMENTATION –
AMPLIFIERS AND PREAMPLIFIERS
USED WITH DETECTORS OF IONIZING RADIATION –
TEST PROCEDURES****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 recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.
- 4) The IEC has not laid down any procedure concerning marking as an indication of approval and has no responsibility when an item of equipment is declared to comply with one of its recommendations.

This International Standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 45: Nuclear instrumentation.

This standard cancels and replaces the second edition of IEC 340, issued in 1979. With respect to the second edition of IEC 340, the title has been changed because the amplifiers used for semiconductor detectors are also applicable to other types of detectors.

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

DIS	Report on Voting
45(CO)206	45(CO)214

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

Annexes A to E form an integral part of this International Standard.

Annex F is for information only.

INTRODUCTION

La présente Norme internationale décrit les méthodes d'essais des amplificateurs et des préamplificateurs utilisés avec des détecteurs semi-conducteurs, des compteurs proportionnels et des détecteurs à scintillation, en spectrométrie des rayonnements ionisants.

La technologie des amplificateurs a évolué jusqu'au point où les performances des spectromètres peuvent être limitées aussi bien par l'analyseur multicanal (AMC) que par l'amplificateur. En raison de cela et en raison de l'impossibilité de normaliser un AMC donné, compte tenu du grand nombre existant sur le marché, les AMC, à quelques exceptions près, ne font pas partie de la méthode de mesure préconisée dans la présente norme.

Dans la présente norme, les méthodes de mesure sont décrites de façon plus détaillée que dans la CEI 340 qu'elle remplace, car avec les amplificateurs modernes, les performances obtenues dépendent souvent des détails de la mesure. Par conséquent, il est nécessaire de normaliser les détails des méthodes ainsi que les spécifications relatives aux amplificateurs.

Les essais spécifiques aux amplificateurs munis de filtres de mise en forme d'impulsions variant dans le temps ne sont pas inclus dans la présente norme; il en est de même pour les essais relatifs aux circuits de rejet d'empilements. Les filtres variant dans le temps permettent des temps de mise en forme plus courts que ceux permis par les filtres linéaires, pour le même rapport signal à bruit (RSB) et les circuits de rejet d'empilement, qui comme leur nom l'indique, arrêtent les impulsions qui chevauchent des impulsions précédentes, permettent des taux de comptage plus élevés pour une résolution spectrale donnée. Les deux techniques trouvent leur plus large application à des énergies extrêmes: à des énergies très faibles, car des impulsions de longue durée doivent être obligatoirement utilisées pour optimiser le rapport signal à bruit (RSB), et à des énergies élevées, où des artefacts des détecteurs provoquent un traînage sur le flanc basse énergie des raies spectrales. Le traînage perturbe les raies de faible intensité situées juste en dessous des raies d'énergies plus élevées, et le phénomène d'empilement entraîne l'apparition de pics fictifs à des énergies multiples de celles des raies spectrales.

Dans la présente norme, $t_{0,5}$ ou $t_{1/2}$ (la durée d'impulsion à 50 % de l'amplitude du pic) indique le temps de mise en forme à l'amplificateur principal, car ce paramètre constitue le meilleur moyen de comparer les caractéristiques de différents amplificateurs. En outre, comparé à d'autres paramètres, ce paramètre est celui qui se prête le plus facilement à une mesure précise au moyen d'un oscilloscope et d'un générateur d'impulsions.

INTRODUCTION

This International Standard describes test procedures for amplifiers and preamplifiers that are used with semiconductor, scintillation and proportional detectors in the spectrometry of ionizing radiation.

Amplifier technology has progressed to the point where the spectrometer performance may be limited as much by the multi-channel analyser (MCA) as by the amplifier. Because of this and because of the impracticality of standardizing on one MCA with so many on the market, MCAs, with minor exceptions, are not a part of the measurement procedure in this standard.

In this standard, measuring procedures are given in greater detail than in IEC 340, which it replaces, because with modern amplifiers, perceived performance often depends on the details of measurement. Thus, many of the details of the procedures need to be standardized as well as the amplifier specifications.

Tests that are specific to amplifiers with time-variant pulse-shaping filters are not included in this standard, nor are tests for pile-up rejectors. Time variant filters allow shorter pulse shaping times than linear filters for the same signal-to-noise ratio (SNR), and pile-up rejectors, as the name implies, block pulses that overlap earlier ones, allowing higher count rates for a given spectral-line resolution. Both techniques have the greatest application at the energy extremes: at very low energies because wide pulses need to be used to optimize the SNR, and at high energies where detector artifacts cause low-side tailing of spectrum lines. The tailing obscures low intensity lines falling just below higher energy ones and pile-up causes phantom peaks to appear at energy multiples of the spectrum lines.

In this standard, $t_{0.5}$ or $t_{1/2}$ (the pulse width at 50 % of peak amplitude) is the main amplifier indicator of shaping time because this parameter best enables a performance comparison among different amplifiers. Also, compared with other parameters, this one is the easiest to measure accurately with an oscilloscope and pulse generator.

INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE – AMPLIFICATEURS ET PRÉAMPLIFICATEURS UTILISÉS AVEC DES DÉTECTEURS DE RAYONNEMENTS IONISANTS – MÉTHODES D'ESSAIS

1 Généralités

1.1 *Domaine d'application et objet*

Les méthodes d'essais de cette Norme internationale concernent les systèmes d'amplificateurs et de préamplificateurs munis de circuits de mise en forme linéaire et destinés à être utilisés avec des détecteurs semi-conducteurs, des détecteurs à scintillation et des compteurs proportionnels, dans la spectrométrie des rayonnements ionisants. Le but est de fournir un langage commun et une méthodologie commune aux utilisateurs et aux fabricants de systèmes d'amplificateurs d'impulsions.

Les méthodes d'essais relatives aux détecteurs associés sont décrites dans la CEI 333, ainsi que dans la CEI 973.

Les essais décrits dans la présente norme ne sont pas tous obligatoires, mais ceux qui sont effectués dans le but de déterminer les spécifications relatives aux préamplificateurs et aux amplificateurs doivent être exécutés conformément aux prescriptions de la présente norme.

L'accent mis sur les méthodes de mesure a pour objet d'accroître la sensibilité et d'améliorer la précision en contournant les limitations des appareils d'essais, notamment les oscilloscopes qui ne disposent que d'un écran de visualisation pour la lecture. Une méthode de zéro est employée, autant que possible, ce qui permet de réduire les erreurs intrinsèques, à l'imprécision d'un couple de résistances de précision. Lorsque l'utilisation d'un pont n'est pas adaptée, comme dans le cas de mesures d'amplitude au moyen d'un oscilloscope, l'impulsion est générée de façon à avoir une amplitude et une position verticale fixes sur le tube cathodique. Certaines mesures nécessitent des appareils ou des montages d'essais qui ne sont pas encore disponibles dans le commerce, au moment de la rédaction de la présente norme; les schémas de circuits relatifs à leur construction sont présentés dans les annexes. L'utilisation d'un tiroir standard d'instrumentation nucléaire pour vérifier les performances d'un amplificateur n'est pas admise, à moins qu'il ne soit possible de corriger les erreurs introduites par ce tiroir ou de démontrer que ces erreurs sont inférieures à l'erreur engendrée par l'amplificateur. L'utilisation d'un module de détection de l'instant de passage pour mesurer le déplacement de cet instant dans un amplificateur bipolaire et celle d'un analyseur multicanal (AMC) pour mesurer la non-linéarité et le bruit en sont des exemples.

1.2 *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 313: 1983, *Connecteurs de câbles coaxiaux utilisés en instrumentation nucléaire.*

NUCLEAR INSTRUMENTATION – AMPLIFIERS AND PREAMPLIFIERS USED WITH DETECTORS OF IONIZING RADIATION – TEST PROCEDURES

1 General

1.1 *Scope and object*

The test procedures of this International Standard cover amplifier and preamplifier systems with linear pulse shaping networks for use with semiconductor, scintillation and proportional detectors in the spectrometry of ionizing radiation. The object is to provide a common language and methodology for users and manufacturers of pulse-amplifier systems.

Test procedures for associated detectors are described in IEC 333 and IEC 973.

Not all of the tests described in this standard are mandatory, but those that are performed to determine preamplifier and amplifier specifications shall conform to this standard.

The emphasis on the methods of measurement is to enhance sensitivity and improve accuracy by working around the limitations of the test instruments, particularly oscilloscopes which have only a visual display for read-out. A null technique is used where possible, thereby reducing basic errors to the inaccuracy of a pair of precision resistors. When use of a bridge is inappropriate, such as in measurements of pulse height with an oscilloscope, the pulse is made to occupy a fixed amplitude and vertical position on the face of the cathode ray tube. Some measurements require test instruments or fixtures not commercially available at this writing; circuit diagrams for their construction are given in the annexes. The use of a standard nuclear instrument module to test the performance of an amplifier is not acceptable unless the errors introduced by that module can be corrected for or shown to be less than the error caused by the amplifier. Examples are the use of a crossover pickoff module to measure crossover walk in a bipolar amplifier and an MCA to measure nonlinearity and noise.

1.2 *Normative references*

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

IEC 313: 1983, *Coaxial cable connectors used in nuclear instrumentation.*

CEI 333: 1983, *Méthodes d'essais des semicteurs pour particules chargées.*

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

IEC 333: 1983, *Test procedures for semiconductor charged particle detectors.*

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