IEC 60532

Edition 3.0 2010-08

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Radiation protection instrumentation – Installed dose rate meters, warning assemblies and monitors – X and gamma radiation of energy between 50 keV and 7 MeV

Instrumentation pour la radioprotection – Débitmètres à poste fixe, ensembles d'alarmes et moniteurs – Rayonnements X et gamma d'énergie comprise entre 50 keV et 7 MeV

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

X

ICS 13.280

ISBN 978-2-88912-171-7

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 5
INTRODUCTION 7
1 Scope and object 10
2 Normative references 11
3 Terms and definitions 13
4 Design requirements 15
4.1 General characteristics 15
4.1.1 Overview 15
4.1.2 Measurement range 15
4.1.3 Safety classification 15
4.2 Detailed characteristics 16
4.2.1 Equipment configuration 16
4.2.2 Equipment reliability 16
4.2.3 Equipment indication 17
4.2.4 Alarm/trip/interlock facilities 18
5 General test procedures 19
5.1 Nature of tests 19
5.2 Reference conditions and standard test conditions 19
5.3 Tests performed under standard test conditions 19
5.4 Tests performed with variation of influence quantities 19
5.5 Statistical fluctuations 20
5.6 Reference radiation 20
5.6.1 Gamma 20
5.6.2 Beta 20
5.6.3 Neutron 20
5.7 Consideration of natural background radiation 20
6 Radiation characteristics 20
6.1 False alarm test 20
6.1.1 Requirements 20
6.1.2 Method of test 20
6.2 Point of test 21
6.3 Linearity 21
6.3.1 Requirements 21
6.3.2 Test source of gamma radiation 21
6.4 Variation of response with photon radiation energy 22
6.4.1 Requirements 22
6.4.2 Method of test 22
6.5 Variation of response with angle of incidence 23
6.5.1 Requirements 23
6.5.2 Method of test 23
6.6 Response to beta radiation 24
6.6.1 Requirements 24
6.6.2 Method of test 24
6.7 Response to neutron radiation 24
6.7.1 Requirements 24
6.7.2 Method of test 24

6.8 Overload characteristics 25
6.8.1 Requirements 25
6.8.2 Method of test 25
6.9 Statistical fluctuations 25
6.9.1 Requirements 25
6.9.2 Method of test 26
6.10 Response time 26
6.10.1 Requirements 26
6.10.2 Method of test 26
6.11 Zero drift 27
6.11.1 Requirements 27
6.11.2 Method of test 27
6.12 Alarm requirements 27
6.12.1 Requirements 27
6.12.2 Method of test 27
6.12.3 Equipment fault alarms 27
6.13 Alarm response time and stability 28
6.13.1 Requirements 28
6.13.2 Method of test 28
6.14 Warm-up 28
6.14.1 Requirements 28
6.14.2 Method of test 28
7 Electrical, mechanical and environmental characteristics 28
7.1 Mains operation 28
7.1.1 Requirements 28
7.1.2 Method of test 29
7.2 Electromagnetic compatibility (EMC) 29
7.2.1 General 29
7.2.2 Emission of electromagnetic radiation 29
7.2.3 Electrostatic discharge 29
7.2.4 General radiated electromagnetic fields 30
7.2.5 Conducted disturbances induced by fast transients or bursts 30
7.2.6 Conducted disturbances induced by surges 31
7.2.7 Conducted disturbances induced by radio-frequencies 31
7.2.8 Ring wave immunity 31
7.2.9 50 Hz/60 Hz magnetic field 32
7.2.10 Voltage dips and short interruptions 32
7.3 Mechanical characteristics 33
7.3.1 Areas of application 33
7.3.2 Microphonics/impact 33
7.4 Environmental characteristics 33
7.4.1 Ambient temperature 33
7.4.2 Relative humidity 34
7.4.3 Sealing 34
8 Documentation 35
8.1 Type test report 35
8.2 Certificate 35
8.3 Operation and maintenance manual 35
Annex A (informative) Monitoring of pulsed ionizing radiation 39

Bibliography 40

Figure 1 – Example of the rotation of the detection assembly 24

Table 1 – IEC SC 45A/SC 45B standards series 8
Table 2 – Emission frequency range 29
Table 3 – Reference conditions and standard test conditions 36
Table 4 – Tests performed under standard test conditions 37
Table 5 – Tests performed with variations of influence quantities 37
Table 6 – Maximum values of additional indications due to electromagnetic disturbances 38

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – INSTALLED DOSE RATE METERS, WARNING ASSEMBLIES AND MONITORS – X AND GAMMA RADIATION OF ENERGY BETWEEN 50 keV AND 7 MeV

FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60532 has been prepared by subcommittee 45B: Radiation protection instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

This third edition cancels and replaces the second edition, published in 1992, and constitutes a technical revision.

The main technical changes with regard to the previous edition are as follows:

– the document has been updated to take account of the requirements of IEC standards published since 1996.

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

FDIS	Report on voting
45B/655/FDIS	45B/670/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be:

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

a) Technical background, main issues and organization of the standard

This International Standard specifically focuses on radiation monitoring systems used for normal and incident conditions.

This standard is intended for use by purchasers in developing specifications for their plant specific radiation monitoring systems and by manufacturers to identify needed product characteristics when developing systems for normal and incident conditions. Some specific instrument characteristics such as measurement range, required energy response and ambient environment requirements will depend upon the specific application. In such cases, guidance is provided on determining the specific requirements, but specific requirements themselves are not stated except as typical examples given in informative annexes.

This standard is one associated with a series of standards which cover post accident radiation monitors important to safety in nuclear power plants. The full series is comprised of the following standards:

IEC 60951-1 – *Nuclear power plants – Instrumentation important to safety – Radiation monitoring for accident and post-accident conditions – Part 1: General requirements*

IEC 60951-2 – *Nuclear power plants – Instrumentation important to safety – Radiation monitoring for accident and post-accident conditions – Part 2: Equipment for continuous off-line monitoring of radioactivity in gaseous effluents and ventilation air*

IEC 60951-3 – *Nuclear power plants – Instrumentation important to safety – Radiation monitoring for accident and post-accident conditions – Part 3: Equipment for continuous high range area gamma monitoring*

IEC 60951-4 – *Nuclear power plants – Instrumentation important to safety – Radiation monitoring for accident and post-accident conditions – Part 4: Equipment for continuous in-line or on-line monitoring of radioactivity in process stream*

b) Situation of the current standard in the structure of the IEC SC 45A/SC 45B standard series

IEC 60951 series of standards are at the third level in the hierarchy of SC 45A standards.

They provide guidance on the design and testing of radiation monitoring equipment used for accident and post accident conditions. Other standards developed by SC 45A and SC 45B provide guidance on instruments used for monitoring radiation as part of normal operations.

The IEC 60761 series provides requirements for equipment for continuous off-line monitoring of radioactivity in gaseous effluents in normal conditions. IEC 60861 provides requirements for equipment for continuous off-line monitoring of radioactivity in liquid effluents in normal conditions. IEC 60768 provides requirements for equipment for continuous in-line and on-line monitoring of radioactivity in process stream in normal and incident conditions. Finally, ISO 2889 gives guidance on gas and particulate sampling. The relationship between these various radiation monitoring standards is given in Table 1:

Table 1 – IEC SC 45A/SC 45B standards series

Developer	ISO	SC 45A – Process and safety monitoring		SC 45B – Radiation protection and effluents monitoring
Scope	Sampling circuits and methods	Accident and post accident conditions	Normal and incident conditions	
Gas, particulate and iodine with sampling (OFF LINE)	ISO 2889	IEC 60951-1 and IEC 60951-2	IEC 60761 series	
Liquid with sampling (OFF LINE)	N/A	N/A	IEC 60861	
Process stream (gaseous effluents, steam or liquid) without sampling (ON or IN-LINE)	N/A	IEC 60951-1 and IEC 60951-4	IEC 60768	N/A
Area monitoring	N/A	IEC 60951-1 and IEC 60951-3	IEC 60532	
Central system	N/A	IEC 61504		IEC 61559 (all parts)

c) Recommendations and limitations regarding the application of the standard

It is important to note that this standard establishes no additional functional requirements for safety systems.

d) Description of the structure of the IEC SC 45A/SC 45B standard series and relationships with other IEC standards and other bodies' documents (IAEA, ISO)

The IEC 61508 series defines the requirements for an overall safety life-cycle framework and a system life-cycle framework. The IEC 61508 series should be complied with when developing instruments with safety functions for radiation monitoring outside the nuclear power plant sector whilst complying with the requirements defined in this standard.

The top-level standard of the IEC SC 45A standard series is IEC 61513. It provides general requirements for instrumentation and control systems and equipment that are used to perform functions important to safety in nuclear power plants. IEC 61513 structures the IEC SC 45A standard series.

IEC 61513 refers directly to other IEC SC 45A standards for general topics related to the categorization of functions and classification of systems, qualification, separation of systems, defence against common cause failure, software aspects of computer-based systems, hardware aspects of computer-based systems, and control room design. The standards referenced directly at this second level should be considered together with IEC 61513 as a consistent document set.

At a third level, IEC SC 45A/SC 45B standards not directly referenced by IEC 61513 are standards related to specific equipment, technical methods or specific activities. Usually, these documents, which make reference to second-level documents for general topics, can be used on their own.

A fourth level extending the IEC SC 45/SC 45B standard series, corresponds to the technical reports which are not normative.

IEC 61513 has adopted a presentation format similar to the basic safety publication.

The IEC 61508 series, with an overall safety life-cycle framework and a system life-cycle framework, provides an interpretation of the general requirements for the nuclear power plant sector (see IEC 61508-1, IEC 61508-2 and IEC 61508-4). Compliance with IEC 61513 will facilitate consistency with the requirements of the IEC 61508 series as they have been interpreted for the nuclear industry. In this framework, IEC 60880 and IEC 62138 correspond to IEC 61508-3 for the nuclear application sector.

IEC 61513 refers to ISO as well as to IAEA 50-C-QA (now replaced by IAEA 50-C/SG-Q) for topics related to quality assurance (QA).

The IEC SC 45A standard series consistently implement and detail the principles and basic safety aspects provided in the IAEA code on the safety of nuclear power plants (NPPs) and in the IAEA safety series, in particular the requirements of Safety Guide NS-R-1, establishing safety requirements related to the design of nuclear power plants, and Safety Guide NS-G-1.3 dealing with instrumentation and control systems important to safety in nuclear power plants. The terminology and definitions used by SC 45A standards are consistent with those used by the IAEA.

RADIATION PROTECTION INSTRUMENTATION – INSTALLED DOSE RATE METERS, WARNING ASSEMBLIES AND MONITORS – X AND GAMMA RADIATION OF ENERGY BETWEEN 50 keV AND 7 MeV

1 Scope and object

This International Standard applies to installed dose rate meters, warning assemblies and monitors that are used to prevent or mitigate a minor radioactive release, or minor degradation of fuel, within the nuclear power plants /nuclear facility design basis, and to warn personnel or to ensure their safety during or following events that involve or result in release of radioactivity in the nuclear power plants (NPP) /nuclear facility (NF), or risk of radiation exposure. This equipment is typically classified as category “A” or “B” or “C” or “not classified” in IEC 61226.

It covers equipment intended to isotropically measure air kerma, ambient dose equivalent or other exposure quantities due to X or gamma radiation of energy between 50 keV and 7 MeV. The equipment is intended primarily for the purpose of radiological protection, and may play an auxiliary or indirect role in the achievement or maintenance of nuclear plant safety.

Instruments measuring over a more limited energy range fall within the scope of this standard provided they cover at least the range of 80 keV to 1,5 MeV.

Assemblies of this type are commonly defined as area radiation monitors. They are normally employed to determine continuously the radiological situation in working areas in which the radiation field may change with time, for example nuclear power plants, particle accelerators, high active laboratories, fuel reprocessing plants, and to provide alarms when the radiation field goes outside predetermined limits. They are also employed to act in safety related protection systems, such as personnel access control systems which allow access to areas which can be subject to radiation fields.

This standard also gives guidance applicable to equipment for use in pulsed radiation fields, for example, those emanating from pulsed radiation or particle accelerators. This guidance is important, since the operation of the majority of the equipment defined by this standard in pulsed fields will give false readings.

The assemblies considered in this standard comprise at least:

- a detector assembly (e.g, ionization chamber, Geiger-Muller tube, scintillation counters, semiconductors);
- a measuring assembly, which may be fitted into a centralized panel which, in the case of warning assemblies and monitors, provides signal outputs and contacts capable of activating alarm or trip/interlock circuits for the purpose of radiation protection.

This standard is also applicable to installed dose rate measuring assemblies designed for special applications (e.g. very high dose rates). However, some of the requirements may need to be amended or supplemented according to the particular characteristics of such assemblies.

This standard is not applicable to criticality monitors.

Assemblies designed to perform combined functions should comply with the requirements pertaining to each of these functions.

This standard specifies general characteristics, general test procedures, radiation, electrical, safety, and environmental characteristics and the identification certificate for the assemblies defined above.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60038, *IEC standard voltages*

IEC 60050-151:2001, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050-393:2003, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 393: Nuclear instrumentation – Physical phenomena and basic concepts*

IEC 60050-394:2007, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 394: Nuclear instrumentation – Instruments, systems, equipment and detectors*

IEC 60068-2-18, *Environmental testing – Part 2-18: Tests – Test R and guidance: Water*

IEC 60068-2-27:2008*, Environmental testing – Part 2-27: Tests – Test Ea and guidance: Shock*

IEC 60068-2-75, *Environmental testing – Part 2-75: Tests – Test Eh: Hammer tests*

IEC 60529:1989, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 60780, *Nuclear power plants – Electrical equipment of the safety system – Qualification*

IEC 60880, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Software aspects for computer-based systems performing category A functions*

IEC 61000-4-2:2008, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measuring techniques – Electrostatic discharge test*

IEC 61000-4-3:2006, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measuring techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*

IEC 61000-4-4:2004*, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-4: Testing and measuring techniques – Electrical fast transient (burst immunity) test*

IEC 61000-4-5:2005, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measuring techniques – Surge immunity test*

IEC 61000-4-6:2008, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measuring techniques – Immunity to conducted disturbances induced by radio-frequency fields*

IEC 61000-4-8, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-8: Testing and measurement techniques – Power frequency magnetic field immunity test*

IEC 61000-4-11, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-11: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests*

IEC 61000-4-12, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-12: Testing and measurement techniques – Ring wave immunity test*

IEC 61000-6-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity for industrial environments*

IEC 61000-6-4, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-4: Generic standards – Emission standard for industrial environments*

IEC 61187:1993, *Electrical and electronic measuring equipment – Documentation*

IEC 61226:2009, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Classification of instrumentation and control functions*

IEC 61504, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Plant-wide radiation monitoring*

IEC 61508 (all parts), *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*

IEC 61513:2001, *Nuclear power plants – Instrumentation and control for systems important to safety – General requirements for systems*

IEC 62138, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important for safety – Software aspectrs for computer-based systems performing category B or C functions*

IEC 62262, *Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code)*

ISO 2889, *Sampling airborne radioactive materials from the stacks and ducts of nuclear facilities*

ISO 4037-1:1996, *X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 1: Radiation characteristics and production methods*

ISO 4037-2:1997, *X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges from 8 keV to 1,3 MeV and 4 MeV to 9 MeV*

ISO 4037-3:1999, *X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 3: Calibration of area and personal dosemeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence*

ISO 4037-4:2004, *X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 4: Calibration of area and personal dosemeters in low energy X reference radiation fields*

ISO 6980-1:2006, *Nuclear energy – Reference beta-particle radiation – Part 1: Methods of production*

ISO 6980-2:2004, *Nuclear energy – Reference beta-particle radiation – Part 2: Calibration fundamentals related to basic quantities characterizing the radiation field*

ISO 6980-3:2006, *Nuclear energy – Reference beta-particle radiation – Part 3: Calibration of area and personal dosemeters and the determination of their response as a function of beta radiation energy and angle of incidence"*

ISO 8529-1:2001, *Neutron reference radiations – Part 1: Characteristics and methods of production*

ISO 8529-2:2000, *Reference neutron radiations – Part 2: Calibration of radiation protection devices related to the basic quantities characterizing the radiation field*

ISO 8529-3:1998, *Reference neutron radiations – Part 3: Calibration of area and personal dosemeters and determination of response as a function of energy and angle of incidence*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 45
INTRODUCTION 47
1 Domaine d'application et objet 50
2 Références normatives 51
3 Termes et définitions 53
4 Exigences de conception 55
4.1 Caractéristiques générales 55
4.1.1 Vue d'ensemble 55
4.1.2 Gamme de mesures 56
4.1.3 Classification de sûreté 56
4.2 Caractéristiques détaillées 57
4.2.1 Configuration de l'équipement 57
4.2.2 Fiabilité de l'équipement 57
4.2.3 Indication de l'appareillage 58
4.2.4 Dispositifs d'alarme/coupure/asservissement 58
5 Procédures générales d'essai 60
5.1 Nature des essais 60
5.2 Conditions de référence et conditions normales d'essai 60
5.3 Essais exécutés dans les conditions normales d'essai 60
5.4 Essais exécutés avec variation des grandeurs d'influence 60
5.5 Fluctuations statistiques 60
5.6 Rayonnement de référence 61
5.6.1 Gamma 61
5.6.2 Bêta 61
5.6.3 Neutron 61
5.7 Prise en compte du rayonnement naturel du fond 61
6 Caractéristiques de rayonnement 61
6.1 Essai de fausses alarmes 61
6.1.1 Exigences 61
6.1.2 Méthode d'essai 61
6.2 Point d'essai 61
6.3 Linéarité 62
6.3.1 Exigences 62
6.3.2 Source de rayonnement gamma d'essai 62
6.4 Variation de la réponse avec l'énergie du rayonnement photonique 63
6.4.1 Exigences 63
6.4.2 Méthode d'essai 63
6.5 Variation de la réponse avec l'angle d'incidence 64
6.5.1 Exigences 64
6.5.2 Méthode d'essai 64
6.6 Réponse au rayonnement bêta 65
6.6.1 Exigences 65
6.6.2 Méthode d'essai 65
6.7 Réponse au rayonnement neutronique 65
6.7.1 Exigences 65
6.7.2 Méthode d'essai 65

6.8 Caractéristiques de surcharge 66
6.8.1 Exigences 66
6.8.2 Méthode d'essai 66
6.9 Fluctuations statistiques 66
6.9.1 Exigences 66
6.9.2 Méthode d'essai 67
6.10 Temps de réponse 67
6.10.1 Exigences 67
6.10.2 Méthode d'essai 67
6.11 Dérive du zéro 68
6.11.1 Exigences 68
6.11.2 Méthode d'essai 68
6.12 Exigences d'alarme 68
6.12.1 Exigences 68
6.12.2 Méthode d'essai 68
6.12.3 Alarmes de panne d'appareillage 69
6.13 Temps de réponse et stabilité de l'alarme 69
6.13.1 Exigences 69
6.13.2 Méthode d'essai 69
6.14 Préchauffage 69
6.14.1 Exigences 69
6.14.2 Méthode d'essai 69
7 Caractéristiques électriques, mécaniques et environnementales 69
7.1 Fonctionnement au secteur 69
7.1.1 Exigences 69
7.1.2 Méthode d'essai 70
7.2 Compatibilité électromagnétique (CEM) 70
7.2.1 Généralités 70
7.2.2 Emission de rayonnement électromagnétique 70
7.2.3 Décharge électrostatique 71
7.2.4 Champs électromagnétiques rayonnés généraux 71
7.2.5 Perturbations conduites induites par les transitoires rapides ou salves 72
7.2.6 Perturbations conduites induites par des ondes de choc 72
7.2.7 Perturbations conduites induites par les fréquences radioélectriques 72
7.2.8 Immunité à l'onde sinusoïdale amortie 73
7.2.9 Champ magnétique de 50 Hz/60 Hz 73
7.2.10 Creux de tension et coupures brèves 74
7.3 Caractéristiques mécaniques 74
7.3.1 Domaine d'application 74
7.3.2 Microphonique/impact 74
7.4 Caractéristiques environnementales 75
7.4.1 Température ambiante 75
7.4.2 Humidité relative 75
7.4.3 Étanchéité 76
8 Documentation 76
8.1 Rapport d'essais de type 76
8.2 Certificat 76
8.3 Manuel d'exploitation et de maintenance 77

Annexe A (informative) Surveillance du rayonnement ionisant pulsé 81
Bibliographie 83

Figure 1 – Exemple de rotation de l'ensemble de détection 65

Tableau 1 – Série de normes des sous-comités SC 45A / SC 45B de la CEI 48
Tableau 2 – Bande de fréquences des émissions 70
Tableau 3 – Conditions de référence et conditions normales d'essai 77
Tableau 4 – Essais exécutés dans les conditions normales d'essai 78
Tableau 5 – Essais exécutés avec variations de grandeurs d'influence 78
Tableau 6 – Valeurs maximales des indications additionnelles dues à des perturbations électromagnétiques 79

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – DÉBITMÈTRES À POSTE FIXE, ENSEMBLES D'ALARMES ET MONITEURS – RAYONNEMENTS X ET GAMMA D'ÉNERGIE COMPRISE ENTRE 50 keV ET 7 MeV

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60532 a été établie par le sous-comité 45B: Instrumentation pour la radioprotection, du comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition, parue en 1992, dont elle constitue une révision technique.

Les principaux changements techniques par rapport à l'édition précédente sont les suivants:

– le document a été mis à jour afin de tenir compte des exigences de normes CEI publiées depuis 1996.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45B/655/FDIS	45B/670/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous «http://webstore.iec.ch» dans les données relatives à la publication recherchée. À cette date, la publication sera:

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTRODUCTION

a) Contexte technique, principales questions et organisation de la norme

La présente Norme internationale traite particulièrement des systèmes de surveillance des rayonnements utilisés pour des conditions normales et d'incidents.

La présente norme est destinée aux acheteurs devant développer des spécifications pour les systèmes de surveillance des rayonnements spécifiques à leurs installations et aux fabricants pour identifier les caractéristiques du produit nécessaires pour le développement de systèmes pour les conditions normales et d'incidents. Certaines caractéristiques spécifiques de l'instrument telles que la gamme de mesure, la réponse énergétique requises et les exigences d'environnement ambiant dépendront de l'application spécifique. Dans de tels cas, des lignes directrices sont fournies pour la détermination des exigences spécifiques mais aucune exigence spécifique proprement dite n'est spécifiée si ce n'est en tant qu'exemples types donnés dans des annexes informatives.

La présente norme est l'une de celles associées à une série de normes couvrant les moniteurs de rayonnements post-accidentels qui sont importants pour la sûreté dans les centrales nucléaires. La série complète se compose des normes suivantes:

CEI 60951-1 – *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation importante pour la sûreté – Surveillance des rayonnements pour les conditions accidentelles et post-accidentelles – Partie 1: Exigences générales*

CEI 60951-2 – *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation importante pour la sûreté – Surveillance des rayonnements pour les conditions accidentelles et post-accidentelles – Partie 2: Matériels pour la surveillance des rayonnements en continu avec prélèvements dans les effluents gazeux et l'air de ventilation*

CEI 60951-3 – *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation importante pour la sûreté – Surveillance des rayonnements pour les conditions accidentelles et post-accidentelles – Partie 3: Ensemble de surveillance locale en continu des rayonnements gamma à large gamme*

CEI 60951-4 – *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation importante pour la sûreté – Surveillance des rayonnements pour les conditions accidentelles et post-accidentelles – Partie 4: Equipement pour la surveillance en continu des rayonnements internes ou externes aux flux de procédé*

b) Place de la présente norme dans la structure de la série de normes des sous-comités SC 45A / SC 45B de la CEI

La série de normes CEI 60951 se situe au troisième niveau de la hiérarchie des normes du sous-comité SC 45A.

Elle fournit des lignes directrices sur la conception et les essais des équipements de surveillance du rayonnement utilisés pour des conditions accidentelles et post-accidentelles. D'autres normes développées par les sous-comités SC 45A et SC 45B fournissent des lignes directrices sur les instruments utilisés pour surveiller les rayonnements en tant que partie intégrante des opérations normales.

La série CEI 60761 fournit les exigences pour l'équipement de surveillance externe en continu de la radioactivité dans les effluents gazeux dans les conditions normales. La CEI 60861

fournit les exigences pour l'équipement de surveillance externe en continu de la radioactivité dans les effluents liquides dans les conditions normales. La CEI 60768 fournit les exigences pour l'équipement de surveillance en continu en ligne de la radioactivité dans le flux de procédé dans des conditions normales et incidentelles. Enfin, la norme ISO 2889 donne des lignes directrices sur l'échantillonnage de gaz et de particules. La relation entre ces diverses normes de surveillance des rayonnements est donnée dans le Tableau 1:

Tableau 1 – Série de normes des sous-comités SC 45A / SC 45B de la CEI

<table>
<tr><th>Développeur</th><th>ISO</th><th colspan="2">SC 45A - Surveillance de la sûreté et du procédé</th><th>SC 45B - Protection contre les rayonnements et surveillance des effluents</th></tr>
<tr><td>Domaine d'application</td><td>Méthodes et circuits d'échantillonnage</td><td>Conditions accidentelles et post-accidentelles</td><td>Conditions normales et incidentelles</td><td></td></tr>
<tr><td>Gaz, particules et iode avec échantillonnage (HORS LIGNE)</td><td>ISO 2889</td><td>CEI 60951-1 et CEI 60951-2</td><td colspan="2">Série CEI 60761</td></tr>
<tr><td>Liquide avec échantillonnage (HORS LIGNE)</td><td>N/A</td><td>N/A</td><td colspan="2">CEI 60861</td></tr>
<tr><td>Flux de procédé (effluents gazeux, vapeur ou liquide) sans échantillonnage (EN DIRECTE)</td><td>N/A</td><td>CEI 60951-1 et CEI 60951-4</td><td>CEI 60768</td><td>N/A</td></tr>
<tr><td>Surveillance de zone</td><td>N/A</td><td>CEI 60951-1 et CEI 60951-3</td><td colspan="2">CEI 60532</td></tr>
<tr><td>Système central</td><td>N/A</td><td colspan="2">CEI 61504</td><td>CEI 61559 (toutes les parties)</td></tr>
</table>

c) Recommandations et limitations concernant l'application de la présente norme

Il est important de noter que la présente norme n'établit aucune exigence fonctionnelle additionnelle pour les systèmes de sécurité.

d) Description de la structure de la série de normes élaborées par le SC 45A/SC 45B de la CEI et relations avec d'autres normes de la CEI et les documents d'autres organismes (AIEA, ISO)

La série de la CEI 61508 définit les exigences pour un cadre de cycle de vie de sécurité global et un cadre de cycle de vie des systèmes. Il convient de se conformer à la série de la CEI 61508 pour développer des instruments avec des fonctions de sécurité pour la surveillance de rayonnements à l'extérieur du secteur de la centrale nucléaire tout en se conformant aux exigences définies dans la présente norme.

La norme de niveau le plus élevé de la série de normes élaborées par le SC 45A de la CEI est la CEI 61513. Celle-ci fournit les exigences générales pour les systèmes instrumentation et commande qui sont utilisés pour exécuter des fonctions importantes pour la sûreté dans les centrales nucléaires. La CEI 61513 structure la série de normes élaborées par le SC 45A de la CEI.

La CEI 61513 se réfère directement à d'autres normes du SC 45A de la CEI traitant de sujets généraux liés à la catégorisation des fonctions et à la classification des systèmes, à la qualification, à la séparation des systèmes, à la défense contre les défaillances de cause commune, aux aspects logiciels des systèmes informatisés, aux aspects matériels des systèmes informatisés et à la conception des salles de contrôle. Il convient que les normes référencées directement à ce deuxième niveau soient considérées avec la CEI 61513 comme un ensemble documentaire cohérent.

À un troisième niveau, les normes des SC 45A/SC 45B de la CEI qui ne sont pas directement référencées par la CEI 61513 sont des normes liées à des matériels particuliers, à des méthodes techniques ou activités spécifiques. En général, ces documents, qui se réfèrent à des documents de deuxième niveau pour des sujets généraux, peuvent être utilisés de façon isolée.

Un quatrième niveau qui est une extension de la série de normes des SC 45A/SC 45B de la CEI correspond aux rapports techniques qui ne sont pas des documents normatifs.

La CEI 61513 a adopté un format de présentation similaire à celui de la publication de sécurité de base.

La série CEI 61508, avec un cycle de vie de sûreté global, un cycle de vie de sûreté des systèmes, fournit une interprétation des exigences générales pour le secteur des centrales nucléaires (voir CEI 61508-1, CEI 61508-2 et CEI 61508-4). La conformité à la CEI 61513 facilite la compatibilité avec les exigences de la série CEI 61508 telles qu'elles ont été interprétées pour l'industrie nucléaire. Dans ce cadre, la CEI 60880 et la CEI 62138 correspondent à la CEI 61508-3 pour le secteur nucléaire.

La CEI 61513 se réfère aux normes ISO ainsi qu'au document AIEA 50-C-QA (remplacé depuis par le document AIEA 50-C/SG-Q) pour ce qui concerne l'assurance qualité (AQ).

La série de normes produites par le SC 45A de la CEI met en œuvre et donne dans le détail les principes et aspects de sécurité de base indiqués dans le Code AIEA sur la sûreté des centrales nucléaires et dans la série des guides de sûreté de l'AIEA, en particulier les exigences du Guide de sûreté NS-R-1, qui établit les exigences de sûreté relatives à la conception des centrales nucléaires, et le Guide de sûreté NS-G-1.3 qui traite des systèmes d'instrumentation et de commande importants pour la sûreté des centrales nucléaires. La terminologie et les définitions utilisées dans les normes produites par le SC 45A sont cohérentes avec celles utilisées par l'AIEA.

INSTRUMENTATION POUR LA RADIOPROTECTION – DÉBITMÈTRES À POSTE FIXE, ENSEMBLES D'ALARMES ET MONITEURS – RAYONNEMENTS X ET GAMMA D'ÉNERGIE COMPRISE ENTRE 50 keV ET 7 MeV

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale s'applique aux débitmètres à poste fixe, ensembles d'alarmes, et moniteurs qui sont utilisés pour prévenir ou atténuer un dégagement mineur de radioactivité, ou une dégradation mineure de combustible, dans le cadre de la conception de base des centrales/installations nucléaires, et pour alerter le personnel ou assurer sa sécurité pendant ou après des événements qui impliquent ou entraînent le dégagement de radioactivité dans les centrales/installations nucléaires ou le risque d'exposition à des rayonnements. Cet équipement est typiquement classé en catégorie “A”, “B” ou “C” ou bien “non classé” dans la CEI 61226.

Elle couvre l'appareillage destiné à mesurer isotropiquement le kerma dans l'air, l'équivalent de dose ambiant ou autres grandeurs d'exposition dus aux rayonnements X ou gamma dont l'énergie est comprise entre 50 keV et 7 MeV. L'appareillage est destiné surtout à la radioprotection mais il peut jouer un rôle auxiliaire ou indirect dans l'accomplissement ou la maintenance de la sûreté des centrales nucléaires.

Les instruments pouvant mesurer une gamme d'énergie plus limitée entrent dans le domaine d'application de la présente norme s'ils couvrent au moins la gamme de 80 keV à 1,5 MeV.

Les ensembles de ce type sont généralement définis comme des moniteurs de rayonnements de zone. Ils sont employés normalement pour déterminer en permanence la situation radiologique des zones de travail dans lesquelles le champ de rayonnement peut évoluer au fil du temps (par exemple les centrales nucléaires, les accélérateurs de particules, ainsi que les laboratoires à haute activité de rayonnement, les usines de retraitement de combustible, etc.) et pour fournir des alarmes quand le champ de rayonnement sort des limites prédéterminées. Ils sont aussi employés pour agir dans des systèmes de protection liés à la sûreté, tels que les systèmes du contrôle d'accès du personnel qui autorisent l'accès à des zones pouvant être soumises aux champs de rayonnement.

La présente norme donne également des lignes directrices applicables à l'appareillage qui est utilisé pour des champs de rayonnements pulsés, par exemple ceux qui émanent d'accélérateurs de particules ou de rayonnements pulsés. Ces lignes directrices sont importantes car le fonctionnement de la majorité de l'appareillage défini par la présente norme donnera dans des champs pulsés des relevés de lecture faux.

Les ensembles considérés dans la présente norme comprennent au moins:

- un ensemble détecteur (par exemple une chambre d'ionisation, un tube Geiger-Müller, des compteurs à scintillation, des semiconducteurs, etc.);
- un ensemble d'appareils de mesure, pouvant être placé dans un bâtiment central, qui, dans le cas des ensembles d'alarmes et des moniteurs, fournit des sorties et des contacts, capables d'activer une alarme, ou d'autres circuits de coupure/asservissement, pour les besoins de la radioprotection.

La présente norme s'applique également aux ensembles de mesure à poste fixe du débit de dose étudiés pour des applications spéciales (par exemple, des débits de dose très élevés). Toutefois, il peut être nécessaire d'amender ou de compléter certaines de leurs exigences en fonction des caractéristiques particulières de tels ensembles.

La présente norme ne s'applique pas aux moniteurs de situation critique.

Il convient que les ensembles étudiés pour remplir des fonctions combinées se conforment aux exigences s'appliquant à chacune de ces fonctions.

La présente norme spécifie les caractéristiques générales, les procédures générales d'essai, les caractéristiques des rayonnements, de la partie électrique, de la sûreté et de l'environnement, ainsi que le certificat d'identification pour les ensembles définis ci-dessus.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60038, *Tensions normales de la CEI*

CEI 60050-151:2001, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60050-393:2003, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 393: Instrumentation nucléaire – Phénomènes physiques et notions fondamentales*

CEI 60050-394:2007, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 394: Instrumentation nucléaire – Instruments, systèmes, équipements et détecteurs*

CEI 60068-2-18, *Essais d'environnement – Partie 2-18*: *Essai – Essai R et guide: Eau*

CEI 60068-2-27:2008, *Essais d'environnement – Partie 2-27: Essais – Essai Ea et guide: Chocs*

CEI 60068-2-75, *Essais d'environnement – Partie 2-75: Essais – Essai Eh: Essais aux marteaux*

CEI 60529:1989, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

CEI 60780, *Centrales nucléaires – Equipements électriques de sûreté – Qualification*

CEI 60880, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Aspects logiciels des systèmes programmés réalisant des fonctions de catégorie A*

CEI 61000-4-2:2008, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux décharges électrostatiques*

CEI 61000-4-3:2006, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-3: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques*

CEI 61000-4-4:2004*, Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-4: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux transitoires électriques rapides en salves*

CEI 61000-4-5:2005, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de choc*

CEI 61000-4-6:2008, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure – Immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques*

CEI 61000-4-8, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-8: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité au champ magnétique à la fréquence du réseau*

CEI 61000-4-11, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-11: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension*

CEI 61000-4-12, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-12: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité à l'onde sinusoïdale amortie*

CEI 61000-6-2, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-2: Normes génériques – Immunité pour les environnements industriels*

CEI 61000-6-4, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 6-4: Normes génériques – Norme sur l'émission pour les environnements industriels*

CEI 61187:1993, *Equipements de mesures électriques et électroniques – Documentation*

CEI 61226:2009, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Classement des fonctions d'instrumentation et de contrôle-commande*

CEI 61504, *Centrales nucléaires – Systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande importants pour la sûreté – Surveillance des rayonnements sur l'ensemble du site d'une installation*

CEI 61508 (toutes les parties), *Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/ électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité*

CEI 61513:2001, *Centrales nucléaires – Instrumentation et contrôle commande des systèmes importants pour la sûreté – Prescriptions générales pour les systèmes*

CEI 62138, *Centrales nucléaires – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Aspects logiciels des systèmes informatisés réalisant des fonctions de catégorie B ou C*

CEI 62262, *Degrés de protection procurés par les enveloppes de matériels électriques contre les impacts mécaniques externes (code IK)*

ISO 2889, *Echantillonnage des substances radioactives contenues dans l'air dans les conduits et émissaires de rejet des installations nucléaires*

ISO 4037-1:1996, *Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres, et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons – Partie 1: Caractéristiques des rayonnements et méthodes de production*

ISO 4037-2:1997, *Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres, et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons – Partie 2: Dosimétrie pour la radioprotection dans les gammes d'énergie de 8 keV à 1,3 MeV et de 4 MeV à 9 MeV*

ISO 4037-3:1999, *Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons – Partie 3: Etalonnage des dosimètres de zone (ou d'ambiance) et individuels et mesurage de leur réponse en fonction de l'énergie et de l'angle d'incidence*

ISO 4037-4:2004, *Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons – Partie 4: Etalonnage des dosimètres de zone (ou d'ambiance) et individuels dans des champs de référence X de faible énergie*

ISO 6980-1:2006, *Energie nucléaire – Rayonnement bêta de référence – Partie 1: Méthodes de production*

ISO 6980-2:2004, *Energie nucléaire – Rayonnements bêta de référence – Partie 2: Concepts d'étalonnage en relation avec les grandeurs fondamentales caractérisant le champ du rayonnement*

ISO 6980-3:2006, *Energie nucléaire – Rayonnement bêta de référence – Partie 3: Étalonnage des dosimètres individuels et des dosimètres de zone et détermination de leur réponse en fonction de l'énergie et de l'angle d'incidence du rayonnement bêta*

ISO 8529-1:2001, *Rayonnements neutroniques de référence – Partie 1: Caractéristiques et méthodes de production*

ISO 8529-2:2000, *Rayonnements neutroniques de référence – Partie 2: Concepts d'étalonnage des dispositifs de radioprotection en relation avec les grandeurs fondamentales caractérisant le champ de rayonnement*

ISO 8529-3:1998, *Rayonnements neutroniques de référence – Partie 3: Étalonnage des dosimètres de zone (ou d'ambiance) et individuels et détermination de leur réponse en fonction de l'énergie et de l'angle d'incidence des neutrons*