

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC  
60515**

Deuxième édition  
Second edition  
2007-02

---

---

---

**Centrales nucléaires de puissance –  
Instrumentation importante pour la sûreté –  
Détecteurs de rayonnements –  
Caractéristiques et méthodes d'essais**

**Nuclear power plants –  
Instrumentation important to safety –  
Radiation detectors –  
Characteristics and test methods**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60515:2007

## **Numérotation des publications**

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

## **Editions consolidées**

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

## **Informations supplémentaires sur les publications de la CEI**

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))**
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.
- **IEC Just Published**  
Ce résumé des dernières publications parues ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.
- **Service clients**  
Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)

Tél: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

## **Publication numbering**

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

## **Consolidated editions**

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## **Further information on IEC publications**

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))**
- **Catalogue of IEC publications**  
The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. Online information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.
- **IEC Just Published**  
This summary of recently issued publications ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.
- **Customer Service Centre**  
If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)

Tel: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC  
60515**

Deuxième édition  
Second edition  
2007-02

---

---

---

**Centrales nucléaires de puissance –  
Instrumentation importante pour la sûreté –  
Détecteurs de rayonnements –  
Caractéristiques et méthodes d'essais**

**Nuclear power plants –  
Instrumentation important to safety –  
Radiation detectors –  
Characteristics and test methods**

© IEC 2007 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, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland  
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch) Web: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

X

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

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	6
INTRODUCTION .....	10
1 Domaine d'application .....	14
2 Références normatives .....	14
3 Termes et définitions .....	16
4 Abréviations .....	22
5 Fonctions d'un système de détection hors-coeur .....	22
6 Matières sensibles aux neutrons .....	24
7 Description des différents types de détecteurs .....	26
7.1 Généralités .....	26
7.2 Compteurs proportionnels sensibles aux neutrons .....	26
7.3 Chambres d'ionisation .....	30
8 Détails sur les facteurs d'influence sur l'utilisation et les essais des détecteurs neutroniques .....	36
8.1 Détecteurs neutroniques à impulsions .....	36
8.2 Détecteurs neutroniques à courant .....	40
9 Principes généraux de fonctionnement des détecteurs .....	46
9.1 Conditions de base de détection .....	46
9.2 Conditions de fonctionnement des détecteurs .....	46
9.3 Limites liées au détecteur .....	46
9.4 Limites liées à la chaîne de mesure .....	48
9.5 Limites liées aux rayonnements gamma environnants .....	48
10 Connecteurs et câbles .....	50
11 Caractéristiques des détecteurs intégrant leurs câbles et leurs détecteurs .....	50
11.1 Généralités .....	50
11.2 Données mécaniques du détecteur .....	50
11.3 Données électriques et nucléaires du détecteur .....	52
11.4 Données mécaniques des connecteurs .....	54
11.5 Caractéristiques électriques des connecteurs .....	54
11.6 Données mécaniques relatives aux câbles .....	56
11.7 Caractéristiques électriques des câbles .....	56
12 Méthodes d'essais – généralités .....	56
13 Essais usine .....	56
13.1 Généralités .....	56
13.2 Liste d'essais usine usuels .....	58
13.3 Essais mécaniques .....	60
13.4 Essais particuliers pour les compteurs à fission (voir Figure 4) .....	60
13.5 Essais particuliers pour les compteurs proportionnels .....	64
13.6 Essais particuliers pour les chambres d'ionisation compensées (voir Figure 3) .....	66
13.7 Essais particuliers pour les chambres d'ionisation neutroniques à courant continu non compensées (voir Figure 2) .....	72
13.8 Essais particuliers pour les chambres d'ionisation à courant continu pour les rayonnements gamma .....	76

## CONTENTS

FOREWORD .....	7
INTRODUCTION .....	11
1 Scope .....	15
2 Normative references .....	15
3 Terms and definitions .....	17
4 Abbreviations .....	23
5 Functions of an ex-core detection system .....	23
6 Neutron sensitive materials .....	25
7 Description of different types of detectors .....	27
7.1 General .....	27
7.2 Neutron sensitive proportional counters .....	27
7.3 Ionization chambers .....	31
8 More detailed factors which influence the use and testing of neutron detectors .....	37
8.1 Pulse mode neutron detectors .....	37
8.2 Current mode neutron detectors .....	41
9 General principles for detector operation .....	47
9.1 Detection basis conditions .....	47
9.2 Detector operating conditions .....	47
9.3 Limits due to the detector .....	47
9.4 Limits due to the measuring channel .....	49
9.5 Limits due to surrounding gamma radiation .....	49
10 Connectors and cables .....	51
11 Characteristics of detectors including their cables and connectors .....	51
11.1 General .....	51
11.2 Detector mechanical data .....	51
11.3 Detector electrical and nuclear data .....	53
11.4 Connector mechanical data .....	55
11.5 Connector electrical characteristics .....	55
11.6 Cable mechanical data .....	57
11.7 Cable electrical characteristics .....	57
12 Test methods – general .....	57
13 Factory tests .....	57
13.1 General .....	57
13.2 List of typical factory tests .....	59
13.3 Mechanical tests .....	61
13.4 Specific tests for fission counters (see Figure 4) .....	61
13.5 Specific tests for proportional counter tubes .....	65
13.6 Specific tests for compensated ionization chambers (see Figure 3) .....	67
13.7 Specific tests for uncompensated neutron sensitive d.c. ionization chambers (see Figure 2) .....	73
13.8 Specific tests for d.c. ionization chambers for gamma radiation .....	77

13.9	Essais particuliers pour les chambres à fission à fluctuations de courant (mode Campbell).....	76
14	Essais de qualification.....	78
14.1	Principes .....	78
14.2	Séquence d'essais sur un détecteur.....	78
14.3	Essais aux conditions d'ambiance .....	78
14.4	Essais sismiques.....	78
	Bibliographie.....	80
	Figure 1 – Compteur proportionnel sensible aux neutrons.....	28
	Figure 2 – Schéma d'une chambre d'ionisation non compensée.....	30
	Figure 3 – Schéma d'une chambre d'ionisation compensée .....	32
	Figure 4 – Schéma d'un compteur à fission.....	34
	Tableau 1 – Facteurs mécaniques importants pour les connecteurs.....	54

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60515:2007

13.9 Specific test for current fluctuation (Campbelling) fission chambers.....	77
14 Qualification tests.....	79
14.1 Principles .....	79
14.2 Test sequence on a detector .....	79
14.3 Test for environmental conditions .....	79
14.4 Seismic tests.....	79
Bibliography.....	81
Figure 1 – Neutron sensitive proportional counter .....	29
Figure 2 – Diagram of an uncompensated ionization chamber.....	31
Figure 3 – Diagram of a compensated ionization chamber .....	33
Figure 4 – Diagram of a fission counter.....	35
Table 1 – Important connector mechanical factors .....	55

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60515:2007

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION IMPORTANTE POUR LA SÛRETÉ – DÉTECTEURS DE RAYONNEMENTS – CARACTÉRISTIQUES ET MÉTHODES D'ESSAIS

#### 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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 60515 a été établie par le sous-comité 45A: Instrumentation et contrôle-commande des installations nucléaires, du comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1975. Cette édition constitue une révision technique.

Les objectifs visés par la révision de la norme sont les suivants:

- Clarifier les définitions en intégrant les notions de densité de flux des neutrons thermiques et densité de flux neutronique totale.
- Mettre à jour les références des nouvelles normes publiées depuis la première édition, en particulier les normes CEI 61513 et CEI 61226.
- Mettre à jour les unités de mesure des rayonnements: nv comme unité de densité de flux neutronique et Gy/h pour les rayonnements gamma.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**NUCLEAR POWER PLANTS –  
INSTRUMENTATION IMPORTANT TO SAFETY –  
RADIATION DETECTORS –  
CHARACTERISTICS AND TEST METHODS**

**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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 60515 has been prepared by subcommittee 45A: Instrumentation and control of nuclear facilities, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1975. This edition constitutes a technical revision.

The revision of the standard is intended to accomplish the following:

- To clarify the definitions by including the thermal neutron fluence rate and the total neutron fluence rate.
- To up-date the reference to new standards published since the first issue, including IEC 61513 and IEC 61226.
- To update the units of radiations: nv unit of neutron fluence rate and Gy/h for gamma.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45A/644/FDIS	45A/647/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 maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60515:2007

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

FDIS	Report on voting
45A/644/FDIS	45A/647/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 maintenance result 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60515:2007

## INTRODUCTION

### a) Contexte technique, questions importantes et structure de la norme

Cette norme internationale traite du sujet particulier des détecteurs neutroniques utilisés principalement dans les systèmes d'instrumentation externe du cœur. Elle établit les principes, caractéristiques et méthodes d'essais des détecteurs neutroniques, ceux-ci comprenant: les compteurs proportionnels, les chambres d'ionisation (compensées et non compensées) et les chambres à fission ou compteurs à fission.

Elle est structurée en articles traitant:

- des définitions;
- de la description des différents types de détecteurs neutroniques;
- de l'analyse des facteurs d'influence;
- des conditions de fonctionnement des détecteurs;
- des essais usine;
- des essais de qualification.

### b) Position du présent document dans la collection de normes du SC 45A de la CEI

La norme CEI 60515 est le document de troisième niveau de la collection de normes du SC 45A de la CEI qui couvre le sujet particulier des caractéristiques et méthodes d'essais liées aux détecteurs de rayonnements utilisés dans les centrales nucléaires de puissance.

Pour plus de détails sur la structure de la collection de normes du SC 45A de la CEI se reporter au point d) de cette introduction.

### c) Recommandations et limites relatives à l'application de cette norme

Il n'y a pas de limitation ou de recommandation particulière concernant l'application de cette norme.

### d) Description de la structure de la collection des normes du SC 45A de la CEI et relations avec les documents de la CEI (AIEA, ISO)

Le document de niveau supérieur de la collection de normes produites par le SC 45A de la CEI est la CEI 61513. Cette norme traite des exigences relatives aux systèmes et équipements d'instrumentation et de contrôle-commande (systèmes d'I&C) utilisés pour accomplir les fonctions importantes pour la sûreté des centrales nucléaires, et structure la collection de normes du SC 45A de la CEI.

La CEI 61513 fait directement référence aux autres normes du SC 45A de la CEI traitant de sujets génériques, tels que la catégorisation des fonctions et le classement des systèmes, la qualification, la séparation des systèmes, les défaillances de cause commune, les aspects logiciels et les aspects matériels relatifs aux systèmes programmés, et la conception des salles de commande. Il convient de considérer que ces normes, de second niveau, forment, avec la norme CEI 61513, un ensemble documentaire cohérent.

Au troisième niveau, les normes du SC 45A de la CEI, qui ne sont généralement pas référencées directement par la norme CEI 61513, sont relatives à des matériels particuliers, à des méthodes ou à des activités spécifiques. Généralement ces documents, qui font référence aux documents de deuxième niveau pour les activités génériques, peuvent être utilisés de façon isolée.

## INTRODUCTION

### a) Technical background, main issues and organisation of the standard

This International Standard addresses the issues specific to neutron detectors used mainly for ex-core instrumentation systems. It describes the principles, the characteristics and the test methods for neutron detectors including: Proportional Counters, Ionization Chambers (compensated and non compensated) and fission chambers or fission counters.

It is organized into clauses giving:

- the definitions;
- description of the different types of neutron detectors;
- analysis of the factors of influence;
- the operational conditions for detectors;
- the factory tests;
- the qualification tests.

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

IEC 60515 is the third level IEC SC 45A document tackling the specific issue of characteristics and test methods related to radiation detectors used in power reactors.

For more details on the structure of the IEC SC 45A standard series see item d) of this introduction.

### c) Recommendations and limitations regarding the application of this standard

There are no special recommendations or limitations regarding the application of this standard.

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

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

IEC 61513 refers directly to other IEC SC 45A standards for general topics related to 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 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.

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

La CEI 61513 a adopté une présentation similaire à celle de la CEI 61508, avec un cycle de vie et de sûreté global, un cycle de vie et de sûreté des systèmes, et une interprétation des exigences générales de CEI 61508-1, CEI 61508-2 et CEI 61508-4 pour le secteur nucléaire. La conformité à la CEI 61513 facilite la compatibilité avec les exigences de la CEI 61508 telles qu'elles ont été interprétées dans 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 fait référence 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.

Les normes produites par le SC 45A de la CEI sont élaborées de façon à être en accord avec les principes de sûreté fondamentaux du Code AIEA sur la sûreté des centrales nucléaires, ainsi qu'avec les guides de sûreté de l'AIEA, en particulier le document d'exigences 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 de l'instrumentation et du contrôle-commande importants pour la sûreté des centrales nucléaires. La terminologie et les définitions utilisées dans les normes produites par le SC 45A sont conformes à celles utilisées par l'AIEA.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC61513-1

A fourth level extending the IEC SC 45A standard series, corresponds to the Technical Reports which are not normative.

IEC 61513 has adopted a presentation format similar to the basic safety publication IEC 61508 with an overall safety life-cycle framework and a system life-cycle framework and provides an interpretation of the general requirements of IEC 61508-1, IEC 61508-2 and IEC 61508-4, for the nuclear application sector. Compliance with IEC 61513 will facilitate consistency with the requirements of IEC 61508 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 standards series consistently implements and details the principles and basic safety aspects provided in the IAEA code on the safety of NPPs and in the IAEA safety series, in particular the Requirements NS-R-1, establishing safety requirements related to the design of Nuclear Power Plants, and the 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61513:2007

**CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE –  
INSTRUMENTATION IMPORTANTE POUR LA SÛRETÉ –  
DÉTECTEURS DE RAYONNEMENTS –  
CARACTÉRISTIQUES ET MÉTHODES D'ESSAIS**

## 1 Domaine d'application

Cette norme internationale s'applique aux détecteurs de rayonnements installés à l'extérieur du cœur des réacteurs nucléaires et qui fournissent les signaux électriques en entrée du système d'instrumentation et de contrôle du réacteur. Ces détecteurs sont généralement des détecteurs neutroniques à gaz et cette norme s'applique exclusivement à ce type de détecteurs même si de nombreux autres principes peuvent être utilisés par d'autres détecteurs, comme les détecteurs à gaz pour les rayonnements gamma. Cette norme décrit donc les caractéristiques et les méthodes d'essais des détecteurs de rayonnements à mélange gazeux, utilisés pour la protection des réacteurs nucléaires.

Les détecteurs pour lesquels la présente norme est applicable sont:

- les chambres d'ionisation à bore (à courant),
- les chambres d'ionisation à fission à courant ou les chambres d'ionisation à fission à impulsions (compteurs à fission),
- les compteurs proportionnels au trifluorure de bore  $\text{BF}_3$ ,
- Les tubes-compteurs d'impulsions proportionnels à l'hélium-3.

Cette norme peut être aussi utilisée pour les chambres d'ionisation à courant pour le rayonnement gamma, cependant les détecteurs traités dans ce document ne sont pas utilisés pour la dosimétrie du personnel.

La CEI 60568 et la CEI 61468 traitent spécifiquement des détecteurs de rayonnements placés dans le cœur des réacteurs.

NOTE Cette liste n'est pas exclusive et on espère que les détecteurs de rayonnements de tous types utilisés dans les installations nucléaires tireront bénéfice de la présente norme. La partie de cette norme liée aux essais couvre aussi les câbles de connexion et les connecteurs lorsqu'ils sont une partie intégrée du détecteur.

## 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 60050-393:2003, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 393: Instrumentation nucléaire – Phénomènes physiques et notions fondamentales*

CEI 60050-394:1995, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 394: Instrumentation nucléaire: Instruments*  
Amendement 1 (1996)  
Amendement 2 (2000)

CEI 60780:1998, *Centrales nucléaires – Equipements électriques de sûreté – Qualification*

CEI 60980:1989, *Pratiques recommandées pour la qualification sismique du matériel électrique du système de sûreté dans les centrales électronucléaires*

**NUCLEAR POWER PLANTS –  
INSTRUMENTATION IMPORTANT TO SAFETY –  
RADIATION DETECTORS –  
CHARACTERISTICS AND TEST METHODS**

## 1 Scope

This International Standard applies to the radiation detectors which are installed external to the core of nuclear reactors and which provide electrical input signals to the reactor's control and instrumentation system. These detectors are usually gas-filled neutron detectors and this standard applies only to that type although many of its principles could be used for others, for example, gas-filled gamma radiation detectors. This standard therefore describes characteristics and tests methods for gas-filled radiation detectors used for the protection of nuclear reactors.

The detectors subject to this standard are:

- boron d.c. ionization chambers,
- fission d.c. ionization chambers or fission pulse ionization chambers (fission counters),
- boron trifluoride proportional pulse counter tubes,
- helium-3 proportional pulse counter tubes.

This standard may be used for d.c. ionization chambers for gamma radiation but the detectors discussed here are not used for personnel dosimetry.

In-core radiation detectors are specifically addressed by IEC 60568 and IEC 61468.

NOTE This list is not restrictive and it is hoped that all types of radiation detectors used in reactor installations will benefit from the present standard. The standard for tests also applies to connecting cables and connectors when they form an integral part of the detector.

## 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 60050-393:2003, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 393: Nuclear instrumentation – Physical phenomena and basic concepts*

IEC 60050-394:1995, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 394 Nuclear Instrumentation: instruments*

Amendment 1 (1996)

Amendment 2 (2000)

IEC 60780:1998, *Nuclear power plants – Electrical equipment of the safety system – Qualification*

IEC 60980:1989, *Recommended practices for seismic qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear generating stations*

CEI 61226:2005, Centrales nucléaires de puissance – Systèmes d'instrumentation et de contrôle commande importants pour la sûreté – Classement des fonctions d'instrumentation et de contrôle commande

CEI 61501:1998: Instrumentation des réacteurs nucléaires – Appareillage de mesure du débit de fluence neutronique à grande dynamique – Méthode du carré de la tension moyenne

### 3 TERMES ET DÉFINITIONS

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60050-393 et la CEI 60050-394, ainsi que les suivants s'appliquent.

#### 3.1

**fluence de combustion** <d'un détecteur de neutrons>

fluence estimée de neutrons d'une distribution énergétique donnée, pour laquelle la quantité de matière sensible consommée est telle que les caractéristiques du détecteur se situent hors des tolérances spécifiées pour une application déterminée

[VEI 394-18-30]

#### 3.2

**facteur de compensation** <d'une chambre d'ionisation compensée>

rapport de la sensibilité au rayonnement indésirable de la chambre d'ionisation compensée, à la sensibilité au même rayonnement indésirable de la même chambre, si elle n'était pas compensée

[VEI 394-18-41]

#### 3.3

**rappor de compensation** <d'une chambre d'ionisation compensée>

inverse du facteur de compensation, utilisé comme indice de qualité d'une chambre d'ionisation compensée

[VEI 394-18-42]

#### 3.4

**rayonnement concomitant**

rayonnement qui accompagne le rayonnement à mesurer mais qui ne fait pas l'objet de la mesure et dont on cherche à éliminer l'influence éventuelle dans la mesure

NOTE Ce rayonnement est aussi appelé rayonnement «indésirable».

#### 3.5

**fluence** <de particules>

$\Phi$

quotient de  $dN$  par  $da$ , où  $dN$  est le nombre de particules incidentes qui pénètrent dans une sphère d'aire de grand cercle  $da$

$$\phi = \frac{dN}{da}$$

[VEI 393-14-25]

IEC 61226:2005, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Classification of instrumentation and control functions*

IEC 61501:1998, *Nuclear reactor instrumentation – Wide range neutron fluence rate meter – Mean square voltage method.*

### 3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-393 and IEC 60050-394, as well as the following, apply.

#### 3.1

**burn-up life** *<of a neutron detector>*

estimated fluence of neutrons of a given energy distribution after which the sensitive material will be consumed to such an extent that the detector characteristics exceed the specified tolerances for a specified purpose

[IEV 394-18-30]

#### 3.2

**compensation factor** *<of a compensated ionization chamber>*

ratio of the sensitivity to undesired radiation of the compensated ionization chamber, to the sensitivity to the same undesired radiation of the same chamber, if it were not compensated

[IEV 394-18-41]

#### 3.3

**compensation ratio** *<of a compensated ionization chamber>*

inverse of the compensation factor, used as an index of performance of a compensated ionization chamber.

[IEV 394-18-42]

#### 3.4

**concomitant radiation**

radiation which is associated with the radiation to be measured but which is not the object of the measurement, and whose effects on the measurement should preferably be eliminated

NOTE This radiation is also designated as an “undesired” radiation.

#### 3.5

**fluence** *<particles>*

$\Phi$

quotient of  $dN$  by  $da$ , where  $dN$  is the number of particles incident on a sphere of cross sectional area  $da$ .

$$\phi = \frac{dN}{da}$$

[IEV 393-14-25]

**3.6**  
**débit de fluence de particule**  
**densité du flux de particules**  
 $\varphi$

quotient de  $d\Phi$  par  $dt$ , où  $d\Phi$  est l'incrément de la fluence de particules pendant l'intervalle de temps de durée  $dt$ .

$$\varphi = \frac{d\phi}{dt}$$

[VIEI 393-14-26]

NOTE 1 Le débit de fluence est identique au produit de la densité de particules dans le volume par la vitesse moyenne des particules. Dans le cas des neutrons, l'unité de débit de fluence utilisée est souvent «nV» à la place du «nombre de neutrons/cm<sup>2</sup>/s».

NOTE 2 Cette définition s'applique à toutes sortes de particules. Dans le cas particulier des neutrons, l'importance de l'énergie est fondamentale et nécessite d'avoir une définition particulière pour les neutrons thermiques.

**3.7**  
**débit de fluence des neutrons thermiques**  
**flux de neutrons thermiques**

intégrale du débit de fluence neutronique par rapport à l'énergie des neutrons sur la partie thermique du spectre. Le spectre thermique correspond aux neutrons dont l'énergie ( $E$ ) est inférieure à environ 0,625 eV

$$\Phi(\text{thermique}) = \int_0^{0,625 \text{ eV}} \varphi(E) dE$$

NOTE 1 Cette définition permet de définir a priori le signal d'un détecteur ou de comparer des signaux de différents détecteurs.

NOTE 2 Le débit de fluence neutronique est un concept de base qui permet de définir la sensibilité des détecteurs neutroniques.

**3.8**  
**débit de fluence neutronique total**  
**flux neutronique total**

intégrale du débit de fluence neutronique sur l'ensemble du spectre

**3.9**  
**influençabilité**

si le fonctionnement d'un détecteur est perturbé par un rayonnement concomitant, le détecteur est dit influencé par ce rayonnement «indésirable». Ce rayonnement concomitant est une grandeur d'influence.

L'influençabilité d'un détecteur au rayonnement concomitant est donnée par:

$$S = \frac{\text{variation de la grandeur de sortie (réponse du détecteur)}}{\text{variation de la grandeur d'entrée (rayonnement concomitant)}}$$

Toutes les autres grandeurs d'influence étant maintenues constantes à des valeurs spécifiées. Les autres facteurs, tels que la température, la pression, la tension de polarisation, etc., peuvent aussi être des grandeurs d'influence. L'influençabilité est aussi définie comme la sensibilité du détecteur au rayonnement concomitant

**3.6**  
**particle fluence rate**  
**particle flux density**  
 $\varphi$

quotient of  $d\Phi$  by  $dt$ , where  $d\Phi$  is the increment of particle fluence in the time interval  $dt$

$$\varphi = \frac{d\phi}{dt}$$

[IEV 393-14-26]

NOTE 1 The Fluence rate is identical with the product of the volume particle density by the average speed of the particles. In the case of neutrons, the fluence rate unit is often expressed as "nv" instead of "number of neutrons /cm<sup>2</sup>/s"

NOTE 2 This definition applies to all kinds of particles. In the particular case of neutrons, the importance of energy is fundamental and requires a more specific definition especially for thermal neutrons.

**3.7**  
**thermal neutron fluence rate**  
**thermal neutron flux**

integral of the neutron fluence rate on the energy of neutrons limited to the thermal part of the spectrum. The thermal spectrum corresponds to neutrons with energy ( $E$ ) below about 0,625 eV

$$\Phi(\text{thermal}) = \int_0^{0,625 \text{ eV}} \varphi(E) dE$$

NOTE 1 This definition allows the prediction of the signal from a detector or the comparison of signals from different detectors.

NOTE 2 The neutron fluence rate is the basic concept used to define the sensitivity of neutron detectors.

**3.8**  
**total neutron fluence rate**  
**total neutron flux**  
integral of the neutron fluence rate over the whole spectrum

**3.9**  
**influenceability**

if the operation of a detector is disturbed by a concomitant radiation, the detector is said to be "influenced" by this undesired radiation. The concomitant radiation is an influence quantity.

The Influenceability of a detector to concomitant radiation is given by:

$$S = \frac{\text{variation of the output quantity (detector response)}}{\text{variation of the input quantity (concomitant radiation)}}$$

with all other influence quantities held constant at specified values. Other factors such as temperature, pressure, polarizing potential, etc., may also be influence quantities. The influenceability is also defined as the sensitivity of the detector to the concomitant radiation

**3.10****débit de fluence neutronique perturbé (flux)**

débit de fluence moyen dans la zone où se trouve le détecteur, en sa présence. La présence du détecteur neutronique perturbe le débit de fluence neutronique. Cette valeur est égale au signal de sortie du détecteur divisé par sa sensibilité (perturbée) et est pratiquement égale au débit de fluence neutronique moyen qui traverse la surface du détecteur

**3.11****débit de fluence neutronique non perturbé (flux)**

débit de fluence moyen dans la zone où se trouve le détecteur, qui existerait si ce dernier était retiré

**3.12****matière sensible <d'un détecteur de neutron>**

matière utilisée à l'intérieur de certains détecteurs de neutrons, par exemple dans un dépôt ou dans un gaz, en vue de donner naissance, par réactions nucléaires avec les neutrons, à des particules directement ionisantes, comprenant des fragments de fission

[VIE 394-10-13]

**3.13****sensibilité aux rayonnements <d'un détecteur>**

pour une valeur donnée du rayonnement mesuré, quotient de la variation de signal observé par rapport à la variation correspondante du rayonnement mesuré

$$S = \frac{\text{variation du signal (réponse du détecteur)}}{\text{variation du rayonnement mesuré}}$$

L'unité de mesure du rayonnement est dépendante de celui-ci: Gy/h pour le rayonnement gamma, nv pour le débit de fluence neutronique, etc. La sensibilité neutronique repose généralement sur le débit de fluence perturbé mais elle est parfois exprimée en unités non perturbées.

Dans nombre de situations, par exemple lors de l'essai de certains nouveaux détecteurs neutroniques, le signal du détecteur est linéaire et négligeable pour une entrée nulle.

Ainsi par exemple:

$$S (\text{neutrons thermiques}) = \frac{\text{signal (réponse du détecteur)}}{\text{débit de fluence neutronique thermique}}$$

Cette définition est valable tant que les grandeurs d'influence du signal sont négligeables

[VIE 394-19-07, modifiée]

**3.14****vie utile <d'un détecteur>**

durée de fonctionnement, dans des conditions d'irradiation et d'environnement comprises entre des limites spécifiées, à la suite de laquelle les caractéristiques du détecteur se situent hors des tolérances spécifiées

[VIE 394-18-29]

NOTE La vie utile peut s'exprimer en fluence de particules incidentes, en nombre d'impulsions produites, etc.

**3.10****perturbed neutron fluence rate (flux)**

spatial mean neutron fluence rate at the detector location with the neutron detector present for measurement. The neutron detector itself changes the unperturbed neutron fluence rate. This quantity is equal to the detector signal output divided by its (perturbed) sensitivity and is, in practice, approximated by the neutron fluence rate averaged over the detector surface

**3.11****unperturbed neutron fluence rate (flux)**

mean neutron fluence rate at the detector location, without the presence of the detector

**3.12****sensitive material <of a neutron detector>**

material used in certain neutron detectors, for example in a lining or a filling gas, which is intended to produce by nuclear reactions from the neutrons, directly ionizing particles including fission fragments

[IEV 394-10-13]

**3.13****sensitivity to radiation <of a detector>**

for a given value of the measured radiation, the ratio of the variation of the observed signal to the corresponding variation of the measured radiation

$$S = \frac{\text{variation of the signal (detector response)}}{\text{variation of radiation to be measured}}$$

The units in which the radiation is measured depend on the radiation: Gy/h for gamma, nv for neutron fluence rate, etc. Neutron sensitivity is usually based on the perturbed fluence rate but is sometimes expressed in unperturbed units.

In many situations, for example in the testing of some new neutron detectors, the detector's signal is linear and negligible for zero input.

Hence, for example:

$$S \text{ (thermal - neutrons)} = \frac{\text{signal (detector response)}}{\text{thermal neutron fluence rate}}$$

This definition is valid provided that influence signals quantities are negligible

[IEV 394-19-07 modified]

**3.14****useful life <of a detector>**

operational life, under irradiation and environmental conditions restricted within specified limits, after which the detector characteristics exceed the specified tolerances

[IEV 394-18-29]

NOTE Useful life can be expressed in incident particle fluence, number of produced pulses, etc.

## 4 Abréviations

cps: coup par seconde. Unité utilisée pour mesurer les taux de comptage.

nv: unité de mesure du débit de fluence neutronique. Équivalent au nombre de neutrons  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

## 5 Fonctions d'un système de détection hors-coeur

Les mesures de puissance d'un réacteur, sur une base temps comparable au transitoire le plus rapide de celui-ci, sont normalement nécessaires aux systèmes de sûreté et cette exigence est aisément satisfaite en détectant le débit de fluence des neutrons qui fuient aux limites externes du cœur. On installe alors des détecteurs adaptés dans ou à proximité du réflecteur de neutrons, ou parfois, à l'intérieur de «colonnes thermiques» dans la protection biologique. Les détecteurs externes au cœur du réacteur dont le principe de détection repose sur d'autres rayonnements que les neutrons ont été déjà utilisés pour cela, mais n'ont jamais à eux seuls satisfait l'ensemble des exigences système.

Le classement des conditions d'ambiance associées aux emplacements des détecteurs peut varier de très hostile, par exemple avec des niveaux élevés d'irradiation et des températures atteignant les 550 °C, à relativement peu hostile, mais ces conditions, en général, ne sont pas aussi contraignantes que celles rencontrées pour l'instrumentation placée à l'intérieur même du cœur. Un détecteur doit néanmoins résister à toutes les conditions environnementales qui surviennent et son choix est guidé en plus par d'autres caractéristiques qui comprennent en particulier les éléments suivants:

- Une sensibilité adaptée. Le système de détection considéré dans son ensemble doit couvrir toute la dynamique de puissance du réacteur. Les niveaux de flux varient en fonction de l'emplacement où se trouve le détecteur entre des valeurs basse et moyennement élevée (ces niveaux restent faibles par rapport à ceux qui règnent à l'intérieur du cœur).
- La capacité à couvrir – seul ou en complément d'autres détecteurs – complètement, une large gamme de détection.
- Un niveau de signal de sortie relativement élevé pour améliorer l'immunité du système aux IEM.
- Des types de sorties différentes pour que la protection du système pris dans son ensemble soit convenablement diversifiée.

De façon générale, seuls les détecteurs basés sur l'ionisation des gaz peuvent couvrir correctement ces besoins. Les collectrons sont rarement utilisés du fait de leur dynamique de mesure réduite et de leur faible sensibilité.

Les neutrons n'ionisent pas directement et sont détectés au travers de leur interaction avec une matière sensible en produisant des particules chargées et donc ionisantes, par exemple des particules alpha, des fragments de fission, etc. Dans les détecteurs remplis de gaz, ces particules secondaires produisent, le long de leur parcours dans le gaz, des électrons et des ions positifs. Le champ de polarisation sépare les ions et les électrons pour produire le signal de sortie. Dans certains détecteurs des champs locaux élevés sont utilisés pour augmenter le niveau de signal par ionisation secondaire (multiplication dans le gaz).

#### 4 Abbreviations

cps: counts per second. The unit for counting rate.

nv: neutron fluence rate unit. Equivalent to the number of neutrons  $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

#### 5 Functions of an ex-core detection system

Reactor safety systems normally require measurements of reactor power on timescales comparable with the fastest possible reactor transient and this is most easily achieved by detecting the fluence rate of leakage neutrons, at the boundary of the core. Appropriate detectors are installed in or near the neutron reflector or, sometimes, in special "Thermal Columns" in the biological shielding. Ex-core detectors based on radiation other than neutrons have been used in this role but have never been able to meet all the system requirements on their own.

The ambient conditions at these detector positions can vary from very hostile, for example with high radiation levels and temperatures up to 550 °C, to relatively benign but they are generally not as harsh as those encountered by in-core instruments. The detector used shall, however, be able to withstand whatever the ambient conditions happen to be and are additionally selected for a variety of reasons. These include:

- Appropriate sensitivity. The system as a whole shall cover the full power range of the reactor and the fluxes at the detector positions vary from very low to moderately high (although still low by in-core standards).
- Ability to contribute towards covering the complete, wide working range – either singly or by complementing other detectors.
- Relatively high level output signals to help the immunity of the system to EMI.
- Different types of output so that the system as a whole has appropriately diverse protection.

In general, only detectors based on gas ionization can fulfill enough of these needs. Self powered detectors are seldom used because of their restricted working ranges and relatively low sensitivities.

Neutrons do not ionize directly and are detected by their interaction with a sensitive material to produce charged and therefore ionizing particles for example alpha particles, fission fragments, etc. In gas filled detectors, these secondary particles generate electrons and positive ions in the gas. The polarizing field separates these and this, in turn, generates the output signal. In some detectors, high local fields are used to enhance the signal by secondary ionization (gas gain).

Le système de détection doit être opérationnel sur l'ensemble de la dynamique, de l'arrêt à la pleine puissance du réacteur, et qui, prenant en compte des facteurs tels que la présence d'une source de neutrons dans le cœur, peut couvrir plus de 9 décades. En conditions idéales, une telle dynamique peut être couverte par un seul détecteur, mais les gammes de fonctionnement sont en général limitées du fait des pertes de linéarité dues aux rayonnements gamma concomitants ou par des effets locaux dus à l'activation neutronique du détecteur lui même ou des structures environnantes. On peut limiter ces effets en utilisant pour la construction du détecteur des matériaux à faible activation, tel que l'aluminium, et par utilisation de protections, mais on ne peut pas éliminer le phénomène.

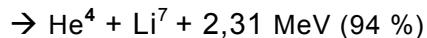
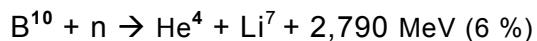
Ainsi, les systèmes d'instrumentation utilisent un certain nombre de types de détecteurs, chacun pour une partie de la dynamique, avec un recouvrement partiel avec les autres. Généralement, les systèmes complets comprennent une combinaison de chambres d'ionisation à courant et de compteurs impulsifs. Les détecteurs sont dupliqués pour assurer une redondance et ceux qui sont utilisés à pleine puissance peuvent éventuellement faire l'objet d'une diversification en faisant appel à des modèles différents. Le choix des détecteurs peut être difficile et c'est généralement encore plus délicat pour les faibles niveaux neutroniques où l'on peut avoir un rayonnement gamma résiduel élevé résultant d'un fonctionnement antérieur à pleine puissance. Ces problèmes disparaissent lorsque la puissance est plus élevée et que les neutrons sont plus nombreux.

## 6 Matières sensibles aux neutrons

Les paramètres qui guident le choix de la matière sensible pour transformer les neutrons en particules ionisantes sont:

- La section efficace neutronique (d'absorption ou de fission). Ce paramètre est directement lié au nombre d'événements survenant dans le détecteur par unité de temps. La sensibilité neutronique est proportionnelle au produit de la section efficace et du nombre d'atomes sensibles présents.
- L'énergie dégagée par la réaction. La composante principale de cette énergie est l'énergie cinétique. Considérant la façon selon laquelle la particule interagit avec le gaz de la chambre, ce paramètre détermine l'amplitude de l'impulsion (pour un détecteur impulsif) ou la charge électrique par événement (pour un détecteur à courant ou à fluctuations de courant).
- Les propriétés mécaniques et chimiques de la matière qui conditionnent son utilisation dans le détecteur. Celles-ci peuvent avoir une influence sur le nombre d'atomes actifs potentiels ou déterminer si l'utilisation de la matière pour une construction donnée est possible.

Les noyaux généralement utilisés pour la détection neutronique sont:



Section efficace thermique =  $4\ 010 \times 10^{-28} \text{ m}^2$  (approximativement).

Cette section efficace importante et le faible numéro atomique garantissent que l'on aura un nombre important d'atomes actifs par unité de masse de matière sensible. En conséquence les détecteurs à impulsions au bore présentent une bonne sensibilité.

Une partie de l'énergie de la réaction est consommée par l'état d'excitation du lithium, qui rejoint rapidement son état de départ avec l'émission d'un rayonnement gamma de 0,48 MeV. Ce photon sort du détecteur sans apporter de contribution au signal. Les produits de la réaction ne sont pas radioactifs et ne contribuent pas aux effets résiduels dans la chambre.

The system needs to be effective from the neutron fluxes corresponding to shut-down to those corresponding to full power and, depending on factors such as reactor effective source strength, this may exceed 9 decades. Under ideal conditions, such a range can be covered by a single detector, but working ranges are invariably limited either by the non-proportional output produced by concomitant reactor gamma radiation or by local effects due to neutron activation of the detector itself or its surrounding structures. These can be mitigated by the use of low activation materials such as aluminum in detector construction and by shields but they cannot be eliminated.

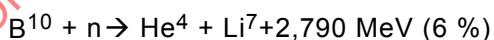
Instrumentation systems therefore employ a number of detector types, each for part of the range and each overlapping the next. Complete systems invariably include a combination of pulse and d.c. ionization chambers. All are replicated to provide redundancy and those at the full power end may be duplicated with different types to provide diversity. The selection of detectors can be difficult and is usually worse at the low power end of the range where neutron fluxes are low but where there may be high residual gamma fields from previous full power operation. These problems ease at higher powers when neutrons become plentiful.

## 6 Neutron sensitive materials

The parameters which govern the choice of sensitive material for converting neutrons to ionizing particles are:

- The cross section to neutrons (absorption or fission). This parameter directly governs the number of events in the detector per unit time. Neutron sensitivity is proportional to the product of cross-section and the number of sensitive atoms present.
- The energy released by the reaction. The major component of this energy is kinetic. Depending on the way in which the particle interacts with the chamber gas, this parameter governs the pulse amplitude (for a pulse mode detector) or the electric charge per event (for a current or current fluctuation mode detector).
- The mechanical and chemical properties of the material, which govern its use within the detector. These may influence the number of active atoms that can be deployed or whether it can be used at all in a given construction.

The nuclei currently used for neutron detection are:

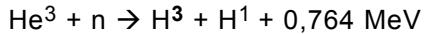


Thermal cross section =  $4\ 010 \times 10^{-28} \text{ m}^2$  (approximately).

The large cross section and the low atomic weight provides a large number of active atoms per unit mass of detector material. This offers boron pulse detectors good sensitivity.

Some of the reaction energy is carried away by an excited state of the lithium, which quickly returns to its ground state with the emission of a 0,48 Mev gamma ray. This photon escapes from the detector and does not contribute to the signal. The products of the reaction are not radioactive and do not contribute to residual effects in the chamber.

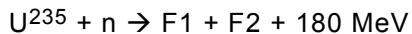
Ainsi, le B<sup>10</sup> est largement utilisé pour les chambres à courant et les compteurs proportionnels. Le bore naturel contient environ 19 % de B<sup>10</sup>, un enrichissement est donc recommandé pour améliorer la sensibilité du détecteur.



Section efficace thermique =  $5\ 400 \times 10^{-28} \text{ m}^2$  (approximativement).

Cette section efficace très importante permet d'avoir des détecteurs à impulsions très sensibles.

L'énergie libérée par la réaction est faible et la discrimination neutron/gamma est limitée. Ainsi les détecteurs He<sup>3</sup> peuvent-ils être uniquement utilisés dans un environnement où le niveau de rayonnements gamma est faible. Typiquement, le niveau de débit de dose gamma maximum pour lequel un compteur He<sup>3</sup> peut fonctionner est de 0,5 Gy/h.



Section efficace thermique =  $550 \times 10^{-28} \text{ m}^2$  (approximativement).

Ce niveau de section efficace est inférieur à celui des autres noyaux sensibles et le numéro atomique élevé implique qu'une masse donnée de matière sensible contient peu d'atomes actifs. Les chambres d'ionisation à fission sont donc relativement peu sensibles lorsqu'elles fonctionnent en mode impulsions.

Cet inconvénient est en partie compensé dans les chambres à fission grâce à la forte énergie libérée par évènement bien qu'il soit généralement difficile pour le gaz d'arrêter les ions émis avec une énergie moyenne de l'ordre de 90 MeV (un des fragments de fission disparaît toujours au niveau de l'électrode et est ainsi perdu).

L'uranium présente aussi l'inconvénient d'être faiblement radioactif et de produire des produits de fission radioactifs en interagissant avec les neutrons.

La radioactivité des produits de fission relâchée lors de la réaction doit être aussi prise en compte dans le cadre de la protection du personnel. C'est un des aspects du problème de l'activation, associé à la manutention et au stockage des détecteurs neutroniques irradiés.

## 7 Description des différents types de détecteurs

### 7.1 Généralités

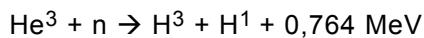
Les paragraphes suivants décrivent les principaux types de détecteurs utilisés dans les systèmes d'instrumentation hors-cœur et présente leurs caractéristiques de principe et leurs conditions de fonctionnement. Ces descriptions sont nécessairement courtes, mais devraient prévenir les incompréhensions qui pourraient survenir lors de la mise en œuvre de cette norme.

### 7.2 Compteurs proportionnels sensibles aux neutrons

#### 7.2.1 Généralités

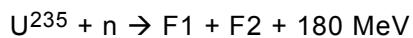
Les compteurs proportionnels sont des détecteurs neutroniques dont le principe de fonctionnement repose sur l'avalanche électronique. Un champ électrique non uniforme est produit par une anode sous la forme d'un fil sous tension à l'intérieur d'une cathode de forme cylindrique remplie de gaz. Une matière sensible aux neutrons est introduite soit dans le gaz lui-même (par exemple du BF<sub>3</sub>) soit sous forme de dépôt sur la face interne du cylindre. Ces différentes méthodes d'introduction de la matière sensible déterminent deux classes d'appareils mais leur principe de fonctionnement reste le même.

$B^{10}$  is therefore widely used in both pulse and d.c. chambers. The natural Boron comprises only about 19 % of  $B^{10}$  and enrichment is recommended to improve the detector sensitivity.



Thermal cross section =  $5\ 400 \times 10^{-28} \text{ m}^2$  (approximately).

The cross section is very large and produces detectors with high sensitivity in pulse mode. The energy released by this reaction is small and neutron/gamma discrimination is poor so that  $He^3$  detectors can only be operated in a low gamma radiation environment. Typically, the maximum gamma dose in which a  $He^3$  counter can be operated is 0,5 Gy/h.



Thermal cross section =  $550 \times 10^{-28} \text{ m}^2$  (approximately).

This cross section is smaller than the other sensitive nuclei and the large atomic weight of uranium means that a given mass of sensitive material contains fewer active atoms. Fission ionization chambers are therefore relatively insensitive when operated in the pulse mode.

This disadvantage is partially offset in d.c. chambers by the high energy per event although it is usually difficult to provide enough stopping power in the gas to extract all of the average 90 MeV available (one of the fission fragments always buries itself in an electrode and is lost).

Uranium also has the disadvantage of being mildly radioactive and of producing radioactive fission products when interacting with neutrons.

The radioactivity of the fission products released by the reaction also needs to be considered in the context of radiation protection for operators. It is one aspect of the activation problems, associated with handling and disposing of irradiated neutron detectors.

## 7 Description of different types of detectors

### 7.1 General

The following subclauses describe the main types of the detector used in Ex-Core instrumentation systems and sets out their main characteristics and conditions of operation. These descriptions are, by necessity brief, but should help prevent technical misunderstandings in the implementation of this standard.

### 7.2 Neutron sensitive proportional counters

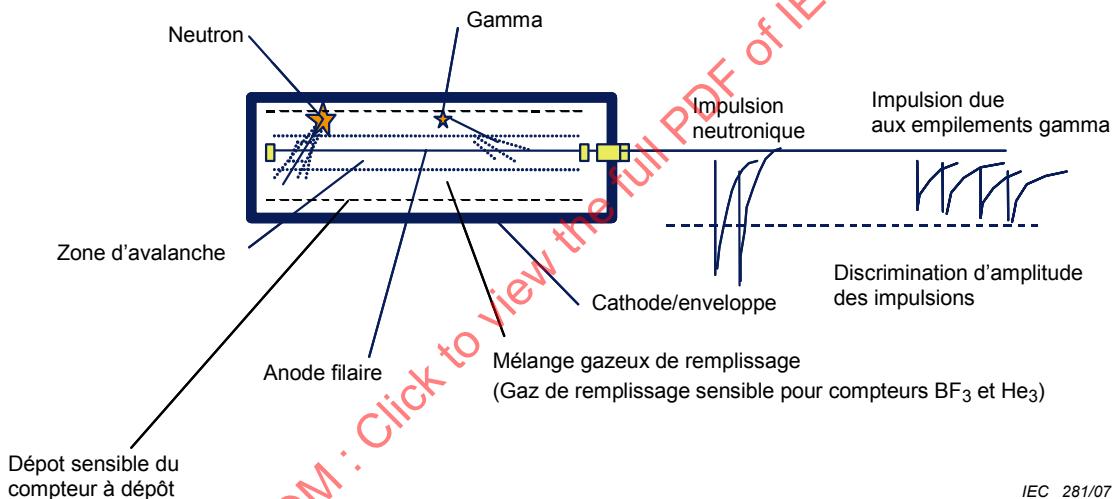
#### 7.2.1 General

Proportional counters are neutron detectors based on the principle of electronic avalanche. A strongly non-uniform electric field is created by means of a thin wire anode tensioned within a cylindrical cathode filled with a gas. A material sensitive to neutrons is placed either within the gas itself (for example as  $BF_3$ ) or in the form of a coating on the internal face of the cylinder. These different methods of applying the sensitive material create two classes of device but their operating principles are the same.

Les particules ionisantes libérées dans le gaz ou dans le dépôt produisent des ions et des électrons. Les électrons sont attirés par l'anode et les ions vers le cylindre externe. Lorsque les électrons arrivent à proximité du fil conducteur dans la zone où le champ électrique est élevé, ils acquièrent suffisamment d'énergie entre deux chocs pour ioniser les atomes avec lesquels ils entrent en collision par la suite. Ceci produit une avalanche qui amplifie le signal initial.

Les champs électriques sont déterminés pour que les amplitudes des impulsions résultantes restent proportionnelles à l'énergie libérée par le rayonnement dans le gaz. Comme l'énergie associée à un événement neutronique (de l'ordre du MeV) est bien plus importante que celle associée à un simple photon gamma (de l'ordre du keV), il n'y a pas de difficultés pour éliminer ces derniers par une discrimination d'amplitude. Cependant, les événements gamma ayant tendance à être nombreux, et bien qu'ils soient chacun énergétiquement relativement faible, leur nombre peut s'accumuler du fait du temps de résolution de l'ensemble, et provoquer ainsi un empilement des impulsions (analogue à un signal de «fluctuation de courant») qui peut alors être interprété comme une impulsion neutronique. Ceci dépend fortement du temps de résolution de l'ensemble de mesure, comprenant en particulier le temps de collection des charges par le compteur lui-même.

Un montage classique est présenté par la Figure 1.



**Figure 1 – Compteur proportionnel sensible aux neutrons**

### 7.2.2 Compteurs proportionnels au $\text{BF}_3$

Ces compteurs proportionnels utilisent le  $\text{BF}_3$  comme gaz sensible de remplissage. Ils servent pour la détection au niveau des chaînes sources de nombreux types de réacteurs et offrent une bonne sensibilité pour une taille donnée. Cependant du fait d'une énergie de réaction faible et d'un temps de collection des charges relativement long, ils tendent aussi à être sensibles aux rayonnements gamma. De plus, leur tension de fonctionnement élevée tend à empêcher leur fonctionnement au-dessus de la température ambiante et la complexité de la molécule de  $\text{BF}_3$  fait que celle-ci est facilement endommagée par les rayonnements.

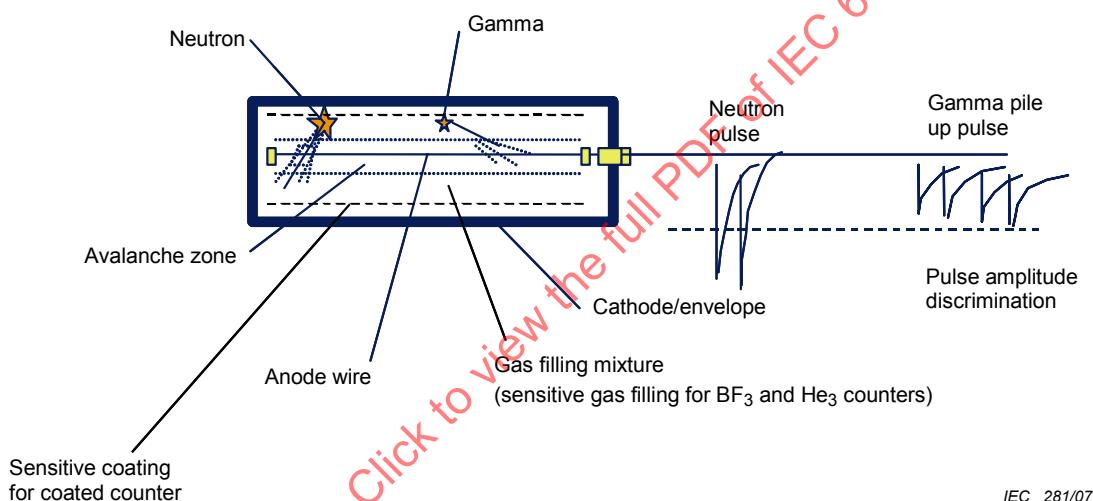
### 7.2.3 Compteurs proportionnels à dépôt de bore

Ces compteurs proportionnels ont des caractéristiques similaires à celles des compteurs proportionnels à  $\text{BF}_3$  et sont utilisés dans le cadre des mêmes applications. Pour une taille donnée, ils peuvent contenir plus de matière active et donc avoir une meilleure sensibilité aux neutrons que des compteurs à  $\text{BF}_3$ . Ils offrent aussi plus de possibilités quant au choix du gaz de remplissage et peuvent être beaucoup plus robustes à l'irradiation. Ces avantages sont contrebalancés par la perte énergétique subie par les particules ionisantes sortant du dépôt. Ceci entraîne une répartition des impulsions suivant un spectre étendu avec une réduction de l'amplitude des impulsions – le tri sélectif gamma devient difficile.

The ionizing particles released in the gas filling or in the coating produce ions and electrons. Electrons migrate towards the wire anode and ions towards the external cylinder. When the electrons reach the high field region close to the wire, they are able to acquire enough energy in a mean free path to ionize the next atom with which they collide. This creates an avalanche which amplifies the original signal.

The fields are chosen such that the resulting pulse amplitudes remain proportional to the energy released by the radiation in the gas. Since the energy deposited by a neutron event (of order MeV) is very much larger than that deposited by a single gamma photon (of order keV), there should be no difficulty in rejecting the latter by pulse amplitude discrimination. However, gamma events tend to be very numerous and, although each is small, the number arriving within the assembly resolving time fluctuates, causing “pile-up” signals (analogous to “Current Fluctuation” signals) which can simulate neutron pulses. This depends strongly on the pulse resolving time of the total measuring assembly, including the pulse collection time of the counter itself.

A typical construction is shown in Figure 1.



**Figure 1 – Neutron sensitive proportional counter**

### 7.2.2 BF<sub>3</sub> filled proportional counters

These proportional counters have BF<sub>3</sub> as the sensitive gas filling. They are used for source range channels on various types of reactors and offer high sensitivity for a given physical size. However, because of their low neutron reaction energy and relatively long pulse collection time, they tend to be sensitive to gamma radiation. In addition, the high operating potential tends to prevent operation much above room temperature and the complexity of the BF<sub>3</sub> molecule means that they can be prone to radiation damage.

### 7.2.3 Boron coating proportional counters

These proportional counters have similar characteristics to BF<sub>3</sub> counters and are used for the same applications. For a given size, they can contain more active material and therefore have higher neutron sensitivities than equivalent BF<sub>3</sub> filled counters. They also offer a wider choice of filling gas and can be less sensitive to radiation damage. These advantages are offset by loss of energy from the ionizing particles as they travel out of the coating. This leads to a wide range of individual pulse sizes and poor pulse height characteristics – gamma rejection becomes difficult.

#### 7.2.4 Compteur proportionnel à l'Hélium 3

Ces compteurs proportionnels sont remplis d' $\text{He}_3$ . La section efficace élevée pour les neutrons les rend très sensibles, mais la faible énergie libérée lors de la réaction les rend aussi très sensibles au rayonnement gamma. L'utilisation de ces compteurs proportionnels pour instrumenter les réacteurs est recommandée seulement si le débit de fluence neutronique et le débit de dose gamma sont faibles, par exemple derrière une protection épaisse.

### 7.3 Chambres d'ionisation

#### 7.3.1 Généralités

Les chambres d'ionisation à courant, à fluctuation de courant ou à impulsions sont des détecteurs dans lesquels la charge électrique relâchée dans le gaz de remplissage est recueillie sans amplification par une avalanche. Ils peuvent fonctionner selon un ou plusieurs de ces trois modes.

En mode impulsion, la discrimination d'amplitude peut être utilisée pour éliminer la contribution des empilements de gamma, mais ceci n'est pas possible en mode courant. En mode courant, le signal gamma s'ajoute simplement à celui induit par les neutrons. Le mode fluctuations de courant, ou mode Campbell, permet de bien éliminer les gammas car le signal de sortie est proportionnel au carré de la charge libérée par événement.

La structure générique de la chambre d'ionisation non compensée comprend deux électrodes (plates ou cylindriques) définissant un volume rempli de gaz dans lequel se produit l'ionisation. La sensibilité aux neutrons est normalement due à la matière sensible déposée sur la surface de l'une ou l'autre des électrodes.

#### 7.3.2 Chambres d'ionisation non compensées (à fission ou à bore)

En mode courant, une électrode (l'électrode de polarisation) est portée à une tension élevée (généralement entre +300 V et +1 000 V) et l'autre électrode collecte les charges électriques libérées par les particules ionisantes. Des anneaux de garde reliés à la terre sont habituellement disposés pour réduire les fuites électriques entre les électrodes. Une telle structure est présentée par la Figure 2.

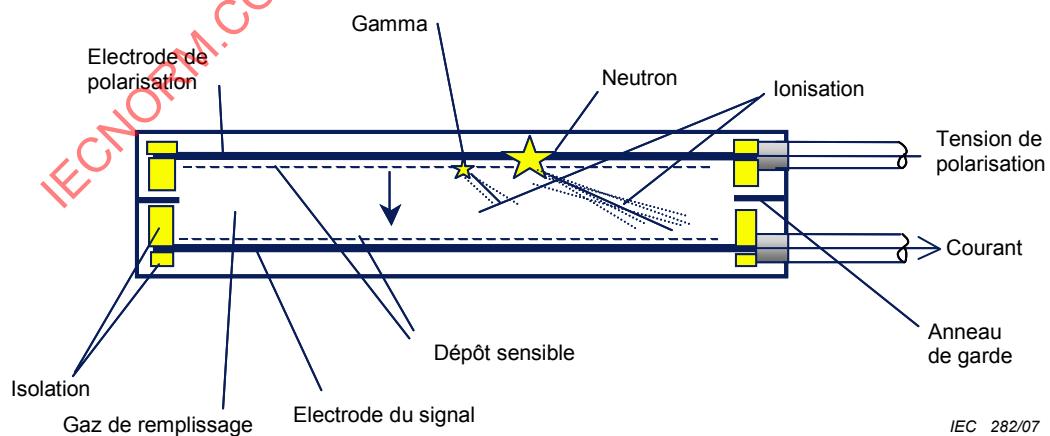


Figure 2 – Schéma d'une chambre d'ionisation non compensée

#### 7.2.4 Helium 3 proportional counters

These counters are gas proportional counters filled with He<sub>3</sub>. The high cross section to neutrons makes them very sensitive but the small energy released by the reaction with neutrons makes them easily influenced by gamma. The use of these proportional counters for reactor instrumentation is recommended only when both the neutron fluence rate and the gamma dose rates are low, for example behind a thick shield.

### 7.3 Ionization chambers

#### 7.3.1 General

Pulse, d.c. and current fluctuation ionization chambers are detectors in which the electric charges released in the filling gas are collected, without amplification by an avalanche. They may be operated in one or more of the three modes.

In the pulse mode, amplitude discrimination can be used to reject the fluctuation pulses produced by gamma pile-up but this is not possible in the current mode. The output from gamma ionization merely adds to that from neutrons. The current fluctuation or Campbell mode offers extremely good gamma rejection because outputs depend on the square of the charge per event.

The generic structure of an uncompensated ionization chamber comprises two electrodes (plates or cylinders) defining a volume filled with a gas in which ionization can occur. Neutron sensitivity is normally provided by sensitive coatings applied to one or both electrode surfaces.

#### 7.3.2 Uncompensated d.c. ionization chambers (boron or fission)

In the d.c. mode, one electrode (the polarizing electrode) is set to a high voltage (typically between +300 V and +1 000 V) and the other electrode collects the electric charges released by the ionizing particles. Guard-rings at earth potential are usually fitted to reduce electrical leakage from one electrode to the other. This structure is shown in Figure 2.

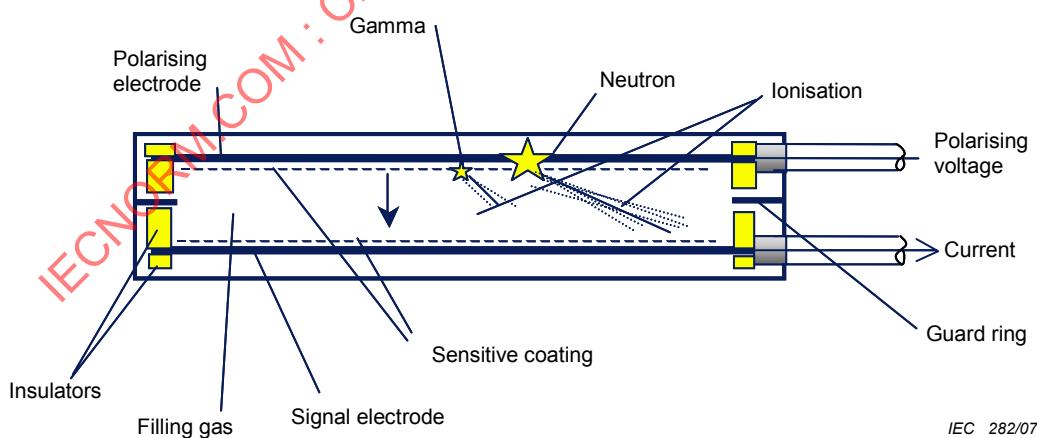


Figure 2 – Diagram of an uncompensated ionization chamber

Pour ce qui est de l'instrumentation nucléaire, le dépôt sensible qui recouvre les deux électrodes est habituellement soit du B<sub>10</sub> enrichi soit de l'U<sub>235</sub> enrichi avec une masse surfacique de l'ordre de 1 mg/cm<sup>2</sup>. Le bore a la section efficace la plus élevée et présente le nombre le plus important d'atomes par unité de surface et les particules perdent la plus grande fraction de leur énergie dans la chambre. Par contre l'énergie par événement est plus faible pour le bore. Dans certains cas les chambres à bore peuvent être dix fois plus sensibles aux neutrons que les chambres à uranium.

Pour un même gaz de remplissage, les sensibilités aux gammas devraient être similaires, mais les chambres au bore sont généralement remplies de gaz ayant un numéro atomique plus faible et peuvent être moins sensible aux gammas d'un ordre 10. Ainsi leur rapport sensibilité neutron par rapport à gamma peut être 100 fois meilleur que celui d'une chambre à fission équivalente.

La dynamique de mesure d'une chambre d'ionisation à courant fonctionnant dans sa zone de saturation sera limitée soit par le niveau des gammas (issus directement du réacteur ou des structures locales irradiées) soit par l'activation de la chambre elle-même. Ainsi, les gammes d'utilisation courantes dépendent de l'historique du fonctionnement dans le réacteur. De plus le dépôt des chambres à fission présente une radioactivité naturelle (alpha et bêta). Cette activité produit dans les chambres neuves un courant faible appelé courant alpha qui peut être utile lors des essais. Il est en général trop faible pour influencer la dynamique de mesure. Ce signal varie en fonction des matières employées pour les structures et le rapport de l'activité des produits de fission par rapport au signal utile est généralement limité à 2 à 3 décades.

Les chambres à dépôt de bore ne produisent pas de produits radioactifs et présentent potentiellement une dynamique plus étendue que les chambres à fission. Cet avantage est mis à profit par l'utilisation de matières à basse activité telles que l'aluminium et le titane dans la construction des chambres à bore. Une bonne conception et une bonne fabrication peuvent permettre d'avoir des gammes s'étendant de 6 à 8 décades. Elles sont inévitablement limitées par les champs résiduels gamma. Ainsi, les chambres à dépôt de bore sont recommandées pour les fonctionnements à puissance intermédiaire et à puissance élevée, alors que celles à l'uranium sont utilisées seulement au dessus du 1 % de puissance nominale.

### 7.3.3 Chambres d'ionisation compensées

Les chambres d'ionisation compensées sont conçues pour limiter l'influence des gammas sur le signal neutronique et la compensation se justifie seulement pour les chambres à dépôt de bore. L'amélioration obtenue dépend de la philosophie de conception – présentée ci dessous – la dynamique de fonctionnement peut être élargie d'une à deux décades par rapport à une chambre d'ionisation non compensée. Le principe de fonctionnement repose sur les chambres différentielles, comme représenté sur la Figure 3.

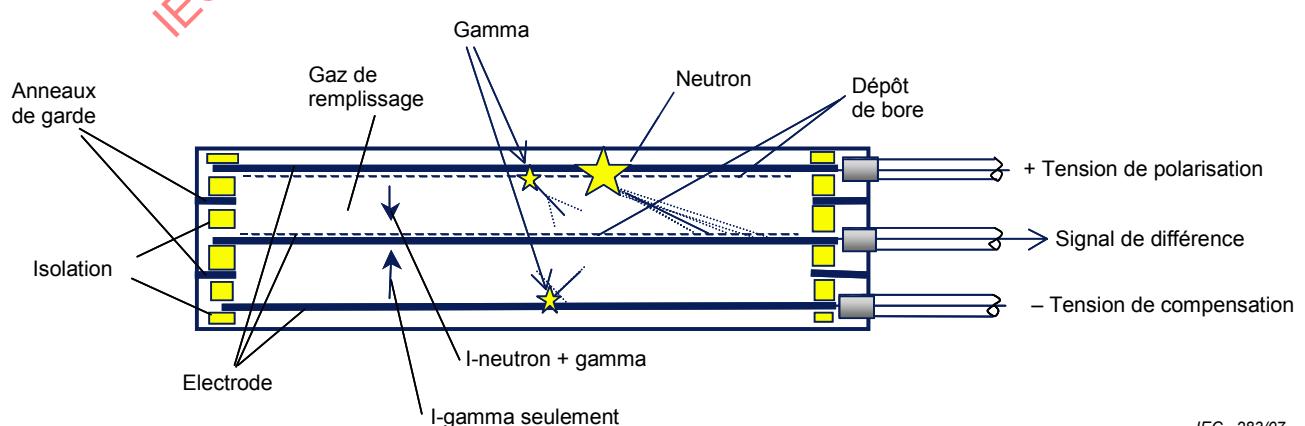


Figure 3 – Schéma d'une chambre d'ionisation compensée

For nuclear instrumentation purposes, the sensitive coating is usually either enriched  $B_{10}$  or enriched  $U_{235}$  coated on both electrodes at a density of order  $1 \text{ mg/cm}^2$ . Boron has the larger cross section, provides more atoms per unit coating density and deposits a larger fraction of its reaction energy in the chamber. On the other hand, the energy per event from boron is low. In some cases, boron chambers are of an order of 10 times more sensitive to neutrons than comparable uranium ones.

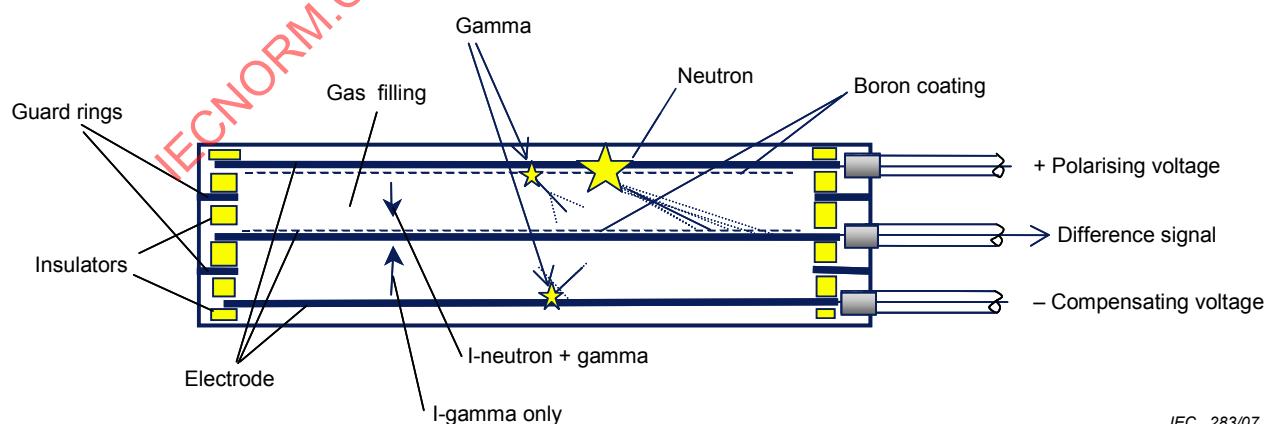
For the same filling gas, sensitivities to gammas should be similar, but boron chambers are normally filled with gases having lower atomic weights and can be less sensitive to gammas by another order of 10. Thus, their neutron to gamma sensitivity ratio may be 100 times better than that of an equivalent fission chamber.

The maximum working range of d.c. ionization chambers functioning in their saturation zone will be limited either by the external gamma level (directly from the reactor or from activated local structures) or by activation of the chamber itself. Thus, available range tends to depend on chronological account of reactor operations. In addition, the coating in fission chambers has natural radioactivity (alpha and beta). This activity generates a low, so-called alpha current in new fission chambers that can be useful in testing. It is usually too small to limit their working range. That, depending on the structural materials, is usually limited to between 2 and 3 decades by the fission product activity from earlier signal events.

Boron coated chambers generate no radioactive species from their coatings and therefore have the potential for wider working ranges than fission chambers. This advantage is exploited by the use of low activity materials such as aluminum and titanium in boron chamber construction. Good designs of this type in good installations can achieve working ranges of 6 to 8 decades. They are invariably limited by residual gamma fields. Hence, boron chambers are recommended for operation at medium to high power levels, whilst uranium ones are used only above about 1 % nominal power.

### 7.3.3 Compensated ionization chambers

Compensated ionization chambers are designed to reduce the influence of gamma on the neutron signal and compensation is only worth using in boron chambers. The improvement obtained depends on the design philosophy – discussed below – but it will increase the range of operation by one or two decades compared with an uncompensated ionization chamber. The principle is based on differential chambers as shown in Figure 3.



**Figure 3 – Diagram of a compensated ionization chamber**

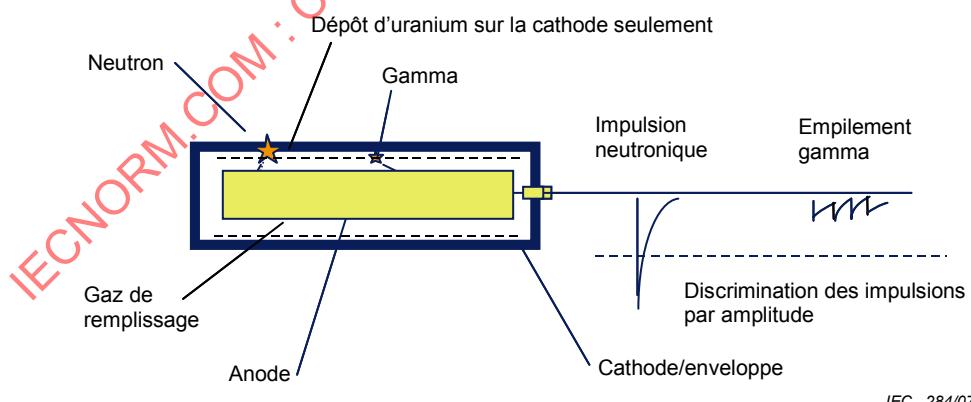
La conception de la chambre est telle que le courant gamma est le même dans les deux parties de la chambre et comme les polarités sont opposées, il n'y aura en principe, pas de contribution gamma à la sortie commune. Cependant, cela ne peut être garanti et on peut observer une «surcompensation» pour laquelle la différence des courants gamma se soustrait à la contribution des neutrons et réduit le signal neutronique réel. La surcompensation n'est sensible que pour des niveaux bas.

Les deux parties de la chambre ne sont ni identiques (le dépôt est dans l'une d'entre elle) ni synchronisées et la compensation dépend donc, par exemple, de l'énergie du rayonnement gamma, de la disposition géométrique relative des sources par rapport aux différentes parties de la chambre, et souvent des tensions appliquées à ces parties. Plus la compensation est forte, plus ces facteurs sont importants. Une solution consiste à concevoir la chambre avec des caractéristiques de tensions stables et une compensation modérée (facteur de compensation entre 2 % et 5 %). Dans ce cas les effets liés aux énergies et à la géométrie sont suffisamment faibles pour être négligés et la chambre peut être utilisée sans restriction. Une solution alternative peut être de réaliser une conception pour des facteurs de compensation plus faibles (de l'ordre de 1 %) et de supprimer les erreurs de fonctionnement en ajustant les tensions de fonctionnement, par exemple en fixant la compensation en exploitation. Dans ce cas, l'information relative à la compensation sera nécessaire en tant que fonction de la tension d'exploitation. Les deux approches ont leurs inconvénients et leurs avantages.

#### 7.3.4 Chambres d'ionisation à impulsions (compteur à fission)

Les chambres d'ionisation, par définition, ne présentent pas d'effet de multiplication lié à une avalanche et seul l'uranium libère une énergie suffisante pour que les événements neutroniques individuels soient détectés en mode impulsions. De tels compteurs ont une conception similaire à celle présentée par la Figure 3 mais, comme il est facile de séparer des tensions des courants de polarisation des impulsions, un seul câble peut suffire. La tension de polarisation et le signal d'impulsion sont transmis sur le même conducteur.

La structure type d'un compteur à fission est représentée dans la Figure 4:



**Figure 4 – Schéma d'un compteur à fission**

Les chambres à fission à impulsions et les compteurs à fission ont des sensibilités relativement faibles. Cependant, du fait que l'énergie libérée par événement est élevée, la discrimination neutron/gamma est bonne et les chambres à fission impulsionales peuvent être utilisées dans des débits de dose gamma élevés. Néanmoins, leurs performances, comme celles des autres compteurs dépendent fortement du temps de résolution du sous-ensemble de mesure et de la mise en œuvre et du réglage du seuil de discrimination.

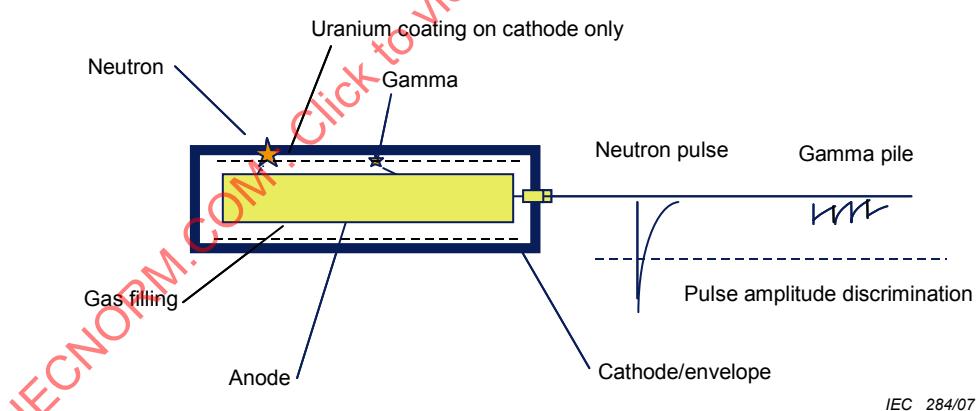
The chamber is designed such that current due to gammas is similar in the two sections and, since the polarities are opposed, there will, in principle, be no gamma contribution to the combined output. This cannot however be guaranteed and “overcompensation” may occur, in which the difference from the gamma current subtracts from the neutron contribution and reduces the neutron signal. Any overcompensation will only be significant at low power level.

The two sections of the chamber are neither identical (one has a coating) nor coincident and compensation therefore, depends on, for example, the energy of the gamma radiation, the geometry of its sources relative to the different sections of the chamber and, often, the potentials applied to those sections. The higher the compensation, the more important these factors become. One solution is to design the chamber with stable collection potential characteristics and moderate compensation (compensation factor between 2 % and 5 %). Under these circumstances, energy and geometry effects are sufficiently small to be neglected and the chamber can be used without restriction. An alternative is to design for smaller compensation factors (of order 1 %) and remove errors in operation by adjusting the operating potentials i.e. to set up the compensation in operation. In this case, information on compensation as a function of operating potential will be required. Both approaches have their strengths and weaknesses.

#### 7.3.4 Pulse ionization chambers (fission counters)

Ionization chambers, by definition, have no avalanche multiplication and only uranium provides sufficient reaction energy for individual neutron events to be detected in the pulse mode. Such counters have the conceptual design of Figure 3 but, since it is easy to separate d.c. polarizing voltages from pulses, only one cable is necessary. The polarizing voltage and the signal pulses are transmitted along the single core of the cable.

The typical structure of a fission counter is shown in Figure 4:



**Figure 4 – Diagram of a fission counter**

Pulse fission chambers or fission counters have relatively low sensitivities. However, since the energy released by fission is very high: their discrimination neutron/gamma is good and fission counters can be used in high gamma dose rates. Their performance in this respect, like that of all other pulse chambers, depends strongly on the resolving time of the measuring sub-assembly and the way in which it, and the discriminator, are set up.

Historiquement, dans les montages d'instrumentation la charge de sortie des compteurs à fission était intégrée par une capacité placée en entrée du sous-ensemble de mesure et convertie en une tension. Une pratique plus récente consiste à mettre à l'extrémité du câble du détecteur un amplificateur et à mesurer les impulsions du courant de sortie. Le temps de collecte des électrons devient alors important – pour une énergie fixée et donc une charge collectée, la sortie est inversement proportionnelle au temps de collecte.

### 7.3.5 Chambre d'ionisation à fluctuation de courant (mode Campbell)

Le mode fluctuation de courant est le troisième mode de fonctionnement possible pour les chambres d'ionisation. Le signal de sortie n'est pas constant, mais fluctue du fait de l'arrivée aléatoire des particules et des différentes réponses de la chambre aux événements individuels. On peut montrer que l'amplitude quadratique moyenne (r.m.s.) de ces variations est donnée par:

$$V^2 = K N Q^2 \text{ (Volts}^2/\text{Hertz)} - \text{largeur de la bande passante du sous-ensemble}$$

où

- $V$  est la tension r.m.s. après amplification;
- $Q^2$  est le carré de la charge moyenne par événement (neutron ou gamma);
- $N$  est le taux d'événements moyen (pour les neutrons, proportionnel à la puissance du réacteur);
- $K$  est un coefficient dépendant du système électronique.

Il découle de ceci que la discrimination des gammas dépend au second ordre de la charge par événement, ainsi les chambres en mode fluctuations permettent d'obtenir une bonne discrimination des gamma. De la même façon, elles permettent d'éliminer le courant de fuite et ainsi la méthode de Campbell peut donc être appliquée directement à la structure simple des chambres à fission impulsionales. Certains systèmes utilisent la même chambre, (fonctionnant en mode impulsions à basse puissance et en mode fluctuations à puissance moyenne et élevée) pour couvrir toute la dynamique de fonctionnement du réacteur.

Des problèmes peuvent survenir du fait de la faible amplitude des signaux et de leur vulnérabilité aux interférences électromagnétiques.

Ce mode est décrit plus en détail dans la CEI 61501.

## 8 Détails sur les facteurs d'influence sur l'utilisation et les essais des détecteurs neutroniques

### 8.1 DéTECTEURS neutroniques à impulsions

#### 8.1.1 Généralités

Les détecteurs neutroniques à impulsions comprennent les chambres d'ionisation à fission à impulsions, les compteurs proportionnels:  $\text{BF}_3$ , dépôt de bore et helium-3.

#### 8.1.2 Sensibilité sur la plage de linéarité

La sensibilité d'un détecteur neutronique à impulsions est généralement mesurée dans une «boîte à neutrons» (un irradiateur à neutrons) qui produit un débit de fluence neutronique bien défini et thermalisé.

La sensibilité est déterminée par le quotient entre le taux de comptage moyen (après en avoir éliminé le bruit de fond) et le débit de fluence de neutrons thermiques qui traverse le détecteur. Celle ci s'exprime en coup par seconde par débit de fluence unitaire de neutrons ( $\text{cps/nv}$ ). Cette sensibilité doit être mesurée avec des paramètres électriques du détecteur et de la chaîne de mesure bien définis, en précisant si le débit de fluence est perturbé ou non.

Historically, the charge output from fission counters in instrumentation schemes was integrated on the input capacitance of the measuring sub-assembly and determined as a voltage. More modern practice is to terminate the detector cable into a matching amplifier and measure the output as a current pulse. The electron collection time of the counter then becomes important – for a fixed energy and therefore charge deposited, output is inversely proportional to collection time.

### 7.3.5 Current fluctuation (Campbelling) ionization chambers

Current fluctuation is the third mode in which ionization chambers can be operated. The output from a current ionization chamber is not steady, but fluctuates because of the random arrival rate of the particles concerned and the different responses of the chamber to different individual events. It can be shown that the r.m.s. magnitude of these fluctuations is given by:

$$V^2 = K N Q^2 \text{ (Volts}^2 / \text{Hertz) of sub-assembly bandwidth}$$

where

- $V$  is the r.m.s. voltage after amplification;
- $Q^2$  is the mean square charge per event (neutron or gamma);
- $N$  is the mean event rate (for neutrons, proportional to reactor power);
- $K$  is a coefficient depending on the electronic system.

From this, it can be seen that gamma rejection depends on the second order ratio of charge per event so that Campbelling mode chambers provide extremely good gamma rejection. They reject leakage current in the same way and Campbelling can therefore be applied directly to the simple structure of the pulse fission chamber. Some systems use the same chamber, (operated in pulse mode at low power and in Campbell mode at medium and high powers) to cover the complete working range of the reactor.

Problems arise from the small amplitude of the signals and their subsequent vulnerability to EM interference.

This mode is described more fully in IEC 61501.

## 8 More detailed factors which influence the use and testing of neutron detectors

### 8.1 Pulse mode neutron detectors

#### 8.1.1 General

Pulse mode neutron detectors include the fission pulse ionization chamber, the  $\text{BF}_3$  counter, the boron-lined counter and the helium-3 proportional counter.

#### 8.1.2 Sensitivity in the linear range

The sensitivity of a pulse mode neutron detector is usually measured in a neutron box (neutron irradiator) which produces a well thermalized and well defined neutron fluence rate.

The sensitivity is determined by dividing the mean counting rate, excluding background, by the thermal neutron fluence rate (flux) at the detector. It is specified in units of counts per second per unit neutron fluence rate (flux) (cps/nv). This sensitivity shall be measured with defined electrical characteristics in the detector and the measuring channel, and it shall be stated whether the neutron fluence rate is perturbed or unperturbed.

### 8.1.3 Gamme de mesures

La gamme théorique de mesures d'un détecteur neutronique à impulsions est déterminée par ses limites inférieure et supérieure.

Pour les compteurs, la limite inférieure est déterminée par la précision statistique requise pour la détermination des taux de comptage faibles en accord avec les contraintes de temps de réponse spécifiées. D'autres limites peuvent apparaître pour les chambres à fission à impulsions dues à des «empilements d'alphas», et plus rarement, au bruit de fond produit par les fissions spontanées. La vraie limite est habituellement liée à la détérioration des caractéristiques de comptage due au bruit de l'amplificateur (qui devient prédominant comparé au taux de comptage) ou à l'empilement des événements gammas.

Habituellement la limite supérieure dépend du temps de résolution de la chaîne de mesure, qui est une fonction du temps de collection des charges et des caractéristiques électriques appliquées. D'autres limites, généralement, importantes pour les compteurs proportionnels, sont la désaturation des champs polarisant et des problèmes de durée de vie du détecteur prévisibles.

### 8.1.4 Effet du rayonnement gamma

La présence significative de rayonnements gamma se traduit par la dégradation du spectre d'impulsions, la modification de la largeur du plateau de la tension de polarisation et dans certains cas, par la réduction du facteur de multiplication des compteurs proportionnels.

### 8.1.5 Température de fonctionnement

Les matériaux de structure et la technologie de fabrication détermine la gamme de températures de fonctionnement. A haute température, les problèmes principaux sont liés au maintien de performances d'isolement et de pureté gazeuse satisfaisantes.

### 8.1.6 Fluence de combustion et vie utile

La fluence de combustion dépend de la matière sensible consommée. Elle est mesurée par le nombre d'événements comptés ou par la valeur de la fluence neutronique correspondant à une quantité de matière sensible consumée. La fluence de combustion classique correspond à la disparition de 10 % de la matière sensible.

La vie utile dépend des conditions d'ambiance et des phénomènes d'influence tels que la pureté des gaz et les caractéristiques d'isolation.

Si les conditions de stockage peuvent affecter la vie utile du détecteur, les exigences portant sur le stockage doivent être clairement définies.

### 8.1.7 Courbe plateau de la haute tension

La tension de polarisation est définie par sa polarité et sa valeur.

Pour les compteurs à impulsions, la tension de polarisation est habituellement une tension positive appliquée à l'électrode collectrice. La tension négative est appliquée à l'enveloppe. Pour les compteurs proportionnels, le facteur de multiplication dépend de la valeur de la tension de polarisation.

La courbe caractérisant la relation entre le taux de comptage et la tension de polarisation est appelée courbe plateau. Elle est caractérisée par  $U_{1,1}$  et  $U_{0,9}$ , les tensions auxquelles les taux de comptage sont 10 % au-dessus et 10 % en dessous de la valeur au point de moindre pente. Ces paramètres dépendent fortement du seuil de discrimination aussi bien pour un compteur proportionnel que pour une chambre à fission utilisée en impulsions.

### 8.1.3 Range of measurement

The theoretical range of measurement of a pulse neutron detector is determined by its lower and upper limits.

The theoretical lower limit for any counter is set by the required statistical accuracy from the determination of a low counting rate within pre-determined time constraints. Other limits on the pulse fission chamber arise from "alpha pile-up", and, less often, from background due to spontaneous fissions. The true limit is usually deterioration of the counting characteristic caused either by amplifier noise (which becomes more dominant as the counting rate falls) or by the pile up of gamma events.

The upper limit usually depends on the resolving time of the measuring channel, which is a function of the charge collection time and the electrical characteristics chosen. Other limits, usually important in proportional counters, are desaturation of the polarizing field and foreseeable detector life problems.

### 8.1.4 Effect of gamma radiation

The presence of significant gamma radiation is indicated by the degradation of the pulse spectrum, the bias plateau length and, in certain cases, by the reduction of the multiplication factor of proportional counters.

### 8.1.5 Operating temperature

The structural materials and the technology of manufacture determine the range of operating temperatures. At high temperature, the principal problems are to maintain satisfactory insulator performance and gas purity.

### 8.1.6 Burn-up and useful life

The burn-up life depends on the consumption of the sensitive material. It is measured by the number of counted events or by the value of the neutron fluence corresponding to a specified quantity of sensitive material consumed. The typical burn-up life corresponds to 10 % depletion of the sensitive material.

The useful life depends on the ambient conditions and influence quantities, such as purity of gas and insulation characteristics.

If storage conditions can affect the useful life of the detector, the requirements for storage shall be clearly defined.

### 8.1.7 Polarization voltage plateau curve

The polarization voltage is defined by its polarity and magnitude.

For pulse counters, the polarization voltage is commonly a positive voltage applied to the collecting electrode. The negative side is applied to the case. For proportional counters, the multiplication factor depends on the value of the polarization voltage.

The curve characterizing the relationship between counting rate and polarization voltage is called the plateau curve. It is characterized by  $U_{1,1}$  and  $U_{0,9}$ , the voltages at which the counting rate is 10 % above and 10 % below its value at the point of least slope. These parameters depend strongly on the discriminator level in a proportional counter and may do so in a fission counter.

Les courbes mesurées sous des conditions déterminées doivent être fournies par le fabricant.

#### **8.1.8 Courbe et seuil de discrimination**

Le seuil de discrimination est défini par l'amplitude de la tension des impulsions après amplification.

La courbe caractérisant la relation entre le taux de comptage et la tension de discrimination est appelée courbe de discrimination. Cette courbe est limitée inférieurement par l'empilement du bruit de l'amplificateur, des alphas ou des gammas et supérieurement par la distribution des hauteurs d'impulsions. Elle est caractérisée par  $V_{1,1}$  et  $V_{0,9}$ , (ou par  $A_{1,1}$  et  $A_{0,9}$ , si le gain d'amplification varie à la place de la tension de discrimination), les niveaux auxquels le taux de comptage est 10 % au-dessus et 10 % en dessous de sa valeur au point de moindre pente. Ces paramètres dépendent fortement du seuil de discrimination dans le cas d'un compteur proportionnel mais également dans le cas d'une chambre à fission.

Les courbes mesurées sous conditions prédéfinies doivent être fournies par le fabricant.

#### **8.1.9 Réponse à un événement nucléaire**

La charge électrique moyenne développée par un événement dans le détecteur doit être connue. Celle-ci est exprimée en coulombs. Pour les compteurs proportionnels, cette valeur est fonction du facteur de multiplication et peut être difficile à mesurer.

Le temps de collection des charges et les impulsions de courant de sortie peuvent aussi être des données importantes. Lorsque c'est le cas, les données pertinentes doivent être transmises par le fabricant.

#### **8.1.10 Résistance d'isolement**

La résistance d'isolement, dans les gammes spécifiées de température, de pression et de tension, doit être suffisamment élevée pour limiter le courant de fuite à une valeur admissible et doit éviter les microclaquages, c'est-à-dire la génération d'impulsions parasites pouvant perturber les signaux.

En ce qui concerne les détecteurs, leurs connecteurs et câbles associés qui fonctionnent à haute température, on doit faire particulièrement attention aux variations de résistance d'isolement liées à la température.

#### **8.1.11 Capacité électrique**

La capacité électrique est une caractéristique importante lorsqu'elle a un effet non négligeable sur la constante de temps du circuit d'entrée de la chaîne de mesure.

### **8.2 Détecteurs neutroniques à courant**

#### **8.2.1 Généralités**

La famille des détecteurs neutroniques à courant comprend les chambres à fission, les chambres d'ionisation au bore et les chambres d'ionisation sensibles aux rayonnements gamma. Ces détecteurs comportent généralement au moins deux câbles mais peuvent aussi n'en avoir qu'un. Dans ce cas le courant du signal comprend la fuite électrique au travers de l'isolant du câble.

#### **8.2.2 Sensibilité aux neutrons et aux rayonnements gammas**

Ce paragraphe traite de la sensibilité aux rayonnements primaires. La sensibilité aux rayonnements concomitants est traitée en 8.2.4.

Curves measured under agreed conditions shall be given by the manufacturer.

#### **8.1.8 Discrimination threshold and discrimination curve**

The discrimination threshold is defined by the voltage amplitude of pulses after amplification.

The curves characterizing the relationship between counting rate and discrimination voltage is called the discrimination curve. This curve is limited at the low discriminator end by amplifier noise, alpha or gamma pile up and at the high end by the distribution of pulse height. It is characterized by  $V_{1,1}$  and  $V_{0,9}$ , (or by  $A_{1,1}$  and  $A_{0,9}$ , if the amplifier gain is varied instead of the discriminator voltage), the levels at which the counting rate is 10 % above and 10 % below its value at the point of least slope. These parameters depend strongly on the polarizing voltage in a proportional counter and may do so in a fission counter.

Curves measured under agreed conditions shall be given by the manufacturer.

#### **8.1.9 Response to a nuclear event**

The mean electrical charge developed per event in the detector shall be known. It is expressed in coulombs. For a proportional counter tube, this variable is a function of the multiplication factor and may be difficult to measure.

The charge collection time and the pulse output current may also be important data. Where this is the case, the relevant data shall be given by the manufacturer.

#### **8.1.10 Insulation resistance**

For the range of specified temperature, pressure and voltage, the insulation resistance shall be sufficiently high to restrict leakage current to a reasonable value and shall be free from the pulse breakdown effect, i.e. the generation of spurious pulses that can simulate signal pulses.

For detectors and any associated connectors and cables that operate at high temperature, attention shall be given to variation of the insulation resistance with temperature.

#### **8.1.11 Electrical capacitance**

The electrical capacitance is an important characteristic when it has an appreciable effect on the time constant of the input circuit of the measuring channel.

### **8.2 Current mode neutron detectors**

#### **8.2.1 General**

Current mode detectors include fission chambers, boron ionization chambers and ionization chambers sensitive to gamma radiation. They normally have two or more cables, but may have only one. If so, the signal current includes the electrical leakage through the cable insulation.

#### **8.2.2 Neutron and gamma sensitivity**

This subclause refers to the sensitivity to the primary radiation. The sensitivity to the concomitant radiation is covered by 8.2.4.

La sensibilité aux neutrons et aux rayonnements gammas des détecteurs à courant ( $S_n$  or  $S_y$ ) s'obtient en divisant la sortie de courant moyenne, lorsque la chambre est polarisée par sa tension de fonctionnement, par le débit de fluence neutronique thermique (flux) ou par le débit de dose gamma pour un spectre d'énergie spécifié appliquée au détecteur. Pour les mesures en courant continu, elle est donnée en unité de courant par unité de débit de fluence neutronique (A/nv) ou par unité de débit de dose gamma (A/(Gy/h)).

### 8.2.3 Gamme de mesures

La gamme de mesures théorique adaptée au détecteur est définie par ses limites basse et haute.

La limite théorique basse est fixée par les variations du signal et leurs effets sur la chaîne de mesure (par exemple, les périodemètre sont sensibles à cela). En pratique, elle est généralement déterminée par le courant parasite produit par l'activation de la chambre, les fuites d'isolation ou le courant dû au bruit de fond alpha dans le cas d'une chambre à fission.

La limite supérieure est fonction des effets de recombinaison et de la longueur acceptable du pallier.

### 8.2.4 Influence du rayonnement concomitant

Pour les détecteurs neutroniques, le rayonnement concomitant à considérer est le rayonnement gamma. Pour les chambres d'ionisation gamma, les rayonnements concomitants à considérer sont le flux neutronique et le rayonnement gamma induit.

Pour les détecteurs neutroniques, l'influençabilité s'obtient en divisant la valeur du courant produit par le seul rayonnement gamma, par la valeur du débit de dose gamma qui produit ce courant. Elle est mesurée en A/(Gy/h)). L'influençabilité d'un détecteur neutronique est sa sensibilité au rayonnement gamma. Pour une chambre compensée, l'influençabilité est réduite par le facteur de compensation.

### 8.2.5 Température de fonctionnement

La gamme de températures de fonctionnement est définie principalement par les matières employées pour réaliser la structure du détecteur et les techniques de fabrication. A haute température, le principal problème consiste à maintenir une performance d'isolation suffisante.

### 8.2.6 Fluence de combustion et vie utile

La fluence de combustion dépend de la consommation de matière sensible. On la mesure par la charge électrique totale produite ou par la valeur de fluence neutronique correspondant à une quantité de matière sensible consumée spécifiée. Généralement, la fluence de combustion correspond à 10 % de disparition de la matière sensible.

La vie utile dépend des caractéristiques des conditions d'ambiance et d'influence. Si les conditions de stockage peuvent affecter la durée de vie utile du détecteur, celles-ci doivent être clairement définies.

### 8.2.7 Tensions de polarisation

Les tensions de polarisation sont définies par leurs polarités et leurs valeurs.

Lorsqu'il y a compensation, la tension de compensation est habituellement négative par rapport à l'enveloppe de la chambre et peut être modifiable ou constante, en fonction de la conception de la chambre.

The neutron or gamma sensitivity of current mode detectors ( $S_n$  or  $S_y$ ) is determined by dividing the mean output current, when the chamber is biased at its operation voltage, by the thermal neutron fluence rate (flux) or gamma dose rate with a specified energy spectrum at the detector. For d.c. measurements, it is specified in units of current per unit of neutron fluence rate (A/nv) or per unit of gamma dose rate (A/(Gy/h)).

### 8.2.3 Range of measurement

The theoretical range of measurement appropriate to the detector is determined by its lower and upper limits.

The theoretical lower limit is fixed by signal fluctuations and their effect on the measuring sub-assembly (for example, period meters are sensitive to this). In practice, it is usually fixed by parasitic current due to chamber activation, insulation leakage or background alpha current in the case of a fission chamber.

The upper limit is fixed by recombination effects and the acceptable length of the plateau.

### 8.2.4 Influenceability by concomitant radiation

For neutron detectors, the concomitant radiation to be considered is gamma radiation. For gamma ionization chambers, the concomitant radiations to be considered are neutron flux and induced gamma radiation.

For neutron detectors, influenceability is determined by dividing the output current due to gamma radiation alone by the value of the gamma dose rate which produces this current. It is measured in A/(Gy/h). The influenceability for a neutron detector is the sensitivity to gamma radiation. For a compensated chamber, the influenceability is reduced by the compensation factor.

### 8.2.5 Operating temperature

The range of operating temperature is determined mainly by the structural materials and the technology of manufacture. At high temperature, the principal problem is to maintain satisfactory insulator performance.

### 8.2.6 Burn-up and useful life

The burn-up life depends on consumption of the sensitive material. It is measured by the total output charge or by the value of the neutron fluence corresponding to a specified quantity of sensitive material consumed. The typical burn-up life corresponds to a 10 % depletion of the sensitive material.

The useful life depends on the ambient conditions and the influence quantities. If storage conditions can affect the useful life of the detector, they shall be clearly defined.

### 8.2.7 Polarization voltages

The polarization voltages are defined by polarity and magnitude.

If compensation is used, the compensation voltage is usually negative with respect to the chamber case and may be adjustable or fixed, depending on the design of the chamber.

La tension de polarisation principale est généralement positive par rapport à l'enveloppe de la chambre et est généralement choisie pour assurer la saturation de la chambre sur sa gamme de fonctionnement. Ce choix doit reposer sur les données fournies par les courbes de saturation.

#### 8.2.8 Courbe de saturation

Pour tracer la courbe de saturation, la chambre est exposée à un niveau de débit de fluence neutronique élevé, dans l'idéal, le débit de fluence neutronique devrait être égal au niveau du fonctionnement normal.

L'électrode de polarisation positive de la chambre est portée à une tension positive qui peut prendre différentes valeurs. La courbe donnant le courant de sortie en fonction de la tension est appelée courbe de saturation. Celle-ci présente un plateau caractéristique entre les tensions notées  $U_{1,1}$  et  $U_{0,9}$ , correspondant respectivement à des courants de 10 % au-dessus et 10 % en dessous du point de moindre pente (plateau). La plage en dessous de  $U_{0,9}$  est caractérisée par des phénomènes de recombinaison en colonne ou généralisée lorsque les courants mesurés sont élevés et aura tendance à varier proportionnellement à la racine carré du courant de plateau.  $U_{1,1}$  est lié aux défauts d'isolation ou gazeux et peut être fortement influencée par la température. La tension  $U_{1,1}$  peut ne pas être atteinte dans la plage préconisée pour la haute tension.

Les courbes mesurées sous des conditions déterminées doivent être fournies par le fabricant.

On doit noter que l'exposition d'une chambre à des flux élevés produit de la radioactivité qui peut poser des problèmes lors de la manutention. Le choix du flux d'essai doit faire le compromis entre cet effet et le besoin de représentativité de l'essai.

#### 8.2.9 Courbe de compensation

Certaines chambres compensées sont conçues pour que le facteur de compensation puisse être facilement modifié en changeant la tension de compensation. Ceci est pris en compte dans la courbe de compensation.

La chambre est exposée à un rayonnement gamma donné (d'un spectre donné) avec un débit de fluence neutronique négligeable. L'électrode de la chambre sensible aux neutrons est polarisée avec une tension positive fixe égale à la valeur de fonctionnement normale. L'électrode de compensation est polarisée avec une tension négative dont la valeur est modifiée. La courbe donnant la valeur du courant mesuré en fonction de la tension de compensation est appelée courbe de compensation.

La courbe de compensation et le spectre d'énergie des rayonnements gamma utilisés pour obtenir la courbe doivent être fournis par le fabricant. Cela doit permettre de déterminer correctement les exigences portant sur la régulation de tension.

La courbe du rapport de compensation en fonction de la tension de compensation est plus générale et doit être préférée.

#### 8.2.10 Réponse à un événement nucléaire

Pour certaines applications, la moyenne et la moyenne quadratique de la charge électrique libérée par neutron ou par gamma détecté est demandée. Le temps de collecte des ions et des électrons peut aussi être important.

#### 8.2.11 Résistance d'isolation

La résistance d'isolation de l'électrode collectrice doit être suffisante pour que le courant de fuite n'entraîne pas d'erreur significative sur la mesure. La valeur retenue doit prendre en compte les performances de la chaîne de mesure.

The main polarization voltage is generally positive with respect to the chamber case and is chosen to ensure saturation of the chamber over the operating range. This choice shall be based on data furnished by the saturation curves.

### 8.2.8 Saturation curve

To measure the saturation curve, the chamber is exposed to a high level of neutron fluence rate, ideally a neutron fluence rate equal to the normal operating level.

The positive polarizing electrode of the chamber is biased with a varying positive voltage. The curve of current output with respect to the voltage is called the saturation curve. It is characterized by a plateau between  $U_{1,1}$  and  $U_{0,9}$ , the voltages at which the current is 10 % above and 10 % below its value at the point of least slope (plateau). The range below  $U_{0,9}$ , is fixed by either columnar or general recombination and at high currents will tend to vary as the square root of the plateau current.  $U_{1,1}$  is due to either gaseous or insulator breakdown and may be strongly affected by temperature. The  $U_{1,1}$  voltage may not be reached within the specified voltage range.

Curves measured under agreed conditions shall be given by the manufacturer.

Note that exposing the chamber to high fluxes will induce radioactivity that could lead to subsequent handling problems. The choice of test flux will be a compromise between this and the need for accurate simulation.

### 8.2.9 Compensation curve

Some compensated chambers are designed such that the compensation factor can be varied readily by changing the compensating potential. This is specified by the compensation curve.

The chamber is exposed to a given gamma radiation (with a given spectrum) with a negligible neutron fluence rate. The neutron sensitive electrode of the chamber is biased with a fixed positive voltage at the normal operating value. The compensation electrode is biased with a varying negative value. The curve of the current output with respect to the compensation voltage is called the compensation curve.

The compensation curve and the energy spectrum of the gamma radiation used to obtain the curve shall be furnished by the manufacturer. This will allow proper determination of voltage regulation requirements.

The curve of compensation ratio versus compensating voltage is more general and should be preferred.

### 8.2.10 Response to a nuclear event

In some applications, the mean and mean square electric charge released per detected neutron or gamma photon is required. The electron and ion collection time may also be important.

### 8.2.11 Insulation resistance

The insulation resistance of the collector electrode shall be such that leakage current does not introduce significant error within the measurement range. The value chosen shall be related to the performance of the measuring channel.

### 8.2.12 Capacité électrique

La capacité électrique est une caractéristique importante lorsqu'elle a un impact significatif sur la constante de temps du circuit d'entrée de la chaîne de mesure.

## 9 Principes généraux de fonctionnement des détecteurs

### 9.1 Conditions de base de détection

Bien qu'à chaque catégorie de détecteur et qu'à chaque type d'appareil soient associées des conditions particulières d'utilisation et de domaine d'application, il est possible de définir des principes généraux d'utilisation dépendant essentiellement des éléments suivants:

- les caractéristiques intrinsèques de chaque type de détecteur,
- les limitations résultant indirectement des grandeurs mesurées, par exemple l'activation des matériaux par les neutrons,
- la chaîne de mesure utilisée dont les caractéristiques doivent être compatibles avec celles du détecteur,
- les caractéristiques du milieu environnant le détecteur et en particulier les grandeurs d'influence.

Le mode utilisé pour ioniser doit être défini, par exemple mode en impulsions, mode en courant et mode en fluctuations du courant ou par moyenne quadratique.

Si des détecteurs doivent fonctionner selon plusieurs modes, leurs caractéristiques doivent être données pour chacun de ces modes.

### 9.2 Conditions de fonctionnement des détecteurs

La conception des détecteurs placés près du cœur du réacteur respecte des règles très strictes, en particulier pour ce qui concerne les matériaux utilisés.

Pour chaque type de détecteurs, il convient de spécifier avec leurs limites, les grandeurs imposant des limitations dans l'usage de ceux ci.

Les grandeurs significatives, sont en général, le débit de fluence neutronique (flux) et son spectre d'énergie, la température ambiante, la pression, l'humidité, etc.

### 9.3 Limites liées au détecteur

#### 9.3.1 Généralités

Il est souhaitable que le débit de fluence neutronique ne dépasse pas une valeur donnée au-delà de laquelle l'activation des matériaux produirait un bruit de fond suffisant pour rendre difficile les mesures à bas niveau. Un point important est celui des détecteurs très sensibles utilisés pour le démarrage des réacteurs (en particulier les compteurs proportionnels à dépôt de bore ou à  $\text{BF}_3$ ) dans lesquels l'activité des matériaux peut remettre en cause une réutilisation immédiate.

#### 9.3.2 Chambres d'ionisation

Pour une chambre d'ionisation, la limite supérieure de la gamme de mesures est définie par le taux de recombinaison des ions entraînant une variation du rapport de proportionnalité entre de débit de fluence neutronique et le signal de sortie.

### 8.2.12 Electrical capacitance

The electrical capacitance is an important characteristic when it has an appreciable effect on the time constant of the input circuit of the measuring channel.

## 9 General principles for detector operation

### 9.1 Detection basis conditions

Although each category of detector and each type of apparatus has its own particular conditions of use and range of application, it is possible to define general principles of use which depend essentially on the following:

- the intrinsic characteristics of each type of detector,
- the limitations resulting indirectly from the quantity measured, for example activation of the materials by neutrons,
- the measuring channel used, the characteristics of which shall be suited to those of the detector,
- the characteristics of the medium surrounding the detector and particularly the influence quantities.

The mode of use of the ionization produced shall be defined, for example: pulse mode, direct current mode and mean square or variance current mode.

If detectors are operated in more than one mode, their characteristics shall be given for each mode.

### 9.2 Detector operating conditions

Detectors placed near the core of a reactor are subject to very stringent design regulations, particularly with reference to the materials used.

The variables which impose a limitation on the use of detectors should be specified together with their limits for each type of detector.

The significant variables, in general, are neutron fluence rate (flux) and its energy spectrum, environmental temperature, pressure, humidity, etc.

### 9.3 Limits due to the detector

#### 9.3.1 General

It is desirable not to exceed a given value of the neutron fluence rate (flux) beyond which activation of materials would produce a gamma or beta background large enough to make subsequent low-level measurements difficult. An important case is that of highly sensitive detectors used for reactor start-up (in particular  $\text{BF}_3$  or boron-lined counter tubes) where the activity of materials may be prejudicial to immediate re-use.

#### 9.3.2 Ionization chambers

For an ionization chamber, the upper limit of the measuring range is set by the rate of recombination of ions causing deviation from proportionality between the neutron fluence rate (flux) and the output signal.

Cette limite supérieure de la gamme de mesure peut être déterminée par:

- une variation spécifiée du rapport de proportionnalité pour une tension de polarisation donnée, ou
- le courant de sortie pour lequel on obtient un taux donné ou une différence par rapport au courant du plateau de saturation.

### 9.3.3 DéTECTEURS à impulsions

Dans le cas des détecteurs à impulsions, une limite supérieure absolue de la gamme de mesures est déterminée par le temps de résolution du détecteur avec sa chaîne de mesure associée. Le temps de résolution entraîne une perte de linéarité sur le taux de comptage. La limite de fonctionnement est donnée par le facteur de perte de comptage.

La limite basse intrinsèque de la gamme de mesures est déterminée par le signal de sortie en l'absence de rayonnements ionisants primaires dans des conditions d'ambiance données. La limite basse opérationnelle est donnée par le taux de comptage minimum nécessaire pour garantir le temps de réponse.

### 9.4 Limites liées à la chaîne de mesure

Les limites déterminées par la chaîne de mesure sont essentiellement liées au temps de résolution, à la bande passante, au niveau de bruit et à l'impédance d'entrée dans le cas des systèmes de comptage à impulsions et au courant de sensibilité, à la dérive, à la compensation du zéro et à l'impédance d'entrée dans le cas des chaînes de mesure à courant.

### 9.5 Limites liées aux rayonnements gamma environnants

Fréquemment, les rayonnements gamma environnants imposent une limite basse dans l'utilisation des détecteurs. Les rayonnements gamma induisent des courants parasites dans les chambres d'ionisation et modifient le palier de comptage, faussant ainsi les taux de comptage mesurés par un compteur à impulsions. Cette limite peut être abaissée dans les chambres d'ionisation neutroniques par compensation, et dans les chambres à fission à impulsions par réduction du temps de résolution de la chaîne et une discrimination adaptée. Des améliorations peuvent aussi être apportées en protégeant de façon adéquate le détecteur contre les rayonnements gamma.

En particulier dans le cas des chambres d'ionisation au bore, la limite basse imposée par les rayonnements gamma est relativement haute. Lorsque les chambres sont compensées, la limite basse d'utilisation pratique peut être définie par la relation suivante:

$$\varphi_{\min} = \frac{f}{e} \frac{S_y}{S_n} X$$

où

- $\varphi_{\min}$  est le débit de fluence neutronique minimum que l'on peut mesurer avec la précision exigée.
- $e$  est le pourcentage (%) exprimant le rapport entre le courant gamma et le courant neutronique exigé.
- $f$  est le facteur de compensation exprimé en pourcentage (%).
- $S_n$  est la sensibilité de la chambre au rayonnement neutronique exprimée en ampères par unité de taux de fluence neutronique (A/nv).
- $S_y$  est l'influençabilité de la chambre aux rayonnements gamma sans compensation exprimée en ampères par unité de débit de dose (A/(Gy/h)).
- $X$  est le débit de dose (Gy/h).

This upper limit of the measuring range may be determined by:

- a specified deviation from proportionality for a given polarization voltage, or
- the output current at which a given ratio or difference to the plateau current is obtained.

### 9.3.3 Pulse detector

For pulse detectors, an absolute upper limit to the measuring range is set by the resolving time of the detector together with its associated measuring channel. The effect of resolving time is to induce a loss of counting compared with the linearity. The operational limit is obtained by a given ratio for loss of counting.

The intrinsic lower limit of the measuring range is determined by the output signal in the absence of the primary ionizing radiation under given ambient conditions. An operational lower limit is given by a minimum counting rate to guarantee the response time.

## 9.4 Limits due to the measuring channel

The limits due to the measuring channel are determined essentially by the resolving time, bandwidth, noise level and input impedance in the case of pulse counting systems, and by the current sensitivity, drift, zero offset and input impedance in the case of a current measuring channel.

## 9.5 Limits due to surrounding gamma radiation

Frequently, the surrounding gamma radiation imposes a lower limit in the use of detectors. Gamma radiation generates false current in ionization chambers and modifies the counting plateau to give false counts in pulse counters. This limit can be lowered in neutron ionization chambers by compensation, and in pulse fission chambers by reduction of the channel resolving time and adequate discrimination. Improvements can also be made by suitably shielding the detector against gamma radiation.

In the particular case of boron ionization chambers, the lower limit imposed by gamma radiation is relatively high. When the chambers are compensated, the lower limit of practical use can be calculated with the following relation:

$$\varphi_{\min} = \frac{f}{e} \frac{S_y}{S_n} X$$

where

- $\varphi_{\min}$  is the minimum neutron fluence rate (flux) measurable with the required accuracy.  
 $e$  is the required maximum ratio of the gamma current to neutron current expressed as percentage (%).  
 $f$  is the compensation factor expressed as a percentage (%).  
 $S_n$  is the sensitivity of the chamber to neutron radiation in amperes per unit of neutron fluence rate (A /nv).  
 $S_y$  is the influenceability of the chamber to gamma radiation without compensation, in amperes per unit of gamma dose rate (A/(Gy/h)).  
 $X$  is the dose rate (Gy/h).

Dans certaines conceptions, le facteur de compensation peut être modifié, par exemple en ajustant la tension de compensation.

Le facteur de compensation peut dépendre de l'intensité du rayonnement et de son spectre d'énergie. Il convient donc que la compensation puisse être adapté en prenant en compte les conditions liées à la source du rayonnement gamma et à la géométrie du détecteur.

## 10 Connecteurs et câbles

Les connecteurs et les câbles sont souvent des parties intégrantes de la chaîne de détection et il convient de les concevoir de façon à ne pas limiter les performances du détecteur.

Il convient que la conception des connecteurs et des câbles permette une manipulation, manuelle ou à distance avec des outils de manière aisée sans risque d'endommagement.

Il convient de prendre des mesures particulières pour éviter les interférences électriques qui pourraient perturber le fonctionnement des chaînes de mesure. La réduction des interférences électriques peut nécessiter la mise en place d'un blindage électrique du détecteur, le blindage extérieur devant être électriquement isolé de la partie commune du circuit de mesure et de la structure externe.

Il est aussi nécessaire de garantir la continuité des connexions et il est souhaitable, côté connecteurs, d'inclure un dispositif permettant de tester à n'importe quel instant cette continuité.

Les bornes des détecteurs doivent être repérées et marquées par des étiquettes ou gravées. Le marquage doit résister aux conditions ambiantes.

## 11 Caractéristiques des détecteurs intégrant leurs câbles et leurs détecteurs

### 11.1 Généralités

La liste des caractéristiques fournie dans les paragraphes ci-dessous donne les informations, qui lorsqu'elles sont pertinentes, doivent être fournies par le fabricant.

### 11.2 Données mécaniques du détecteur

Un schéma d'encombrement doit être fourni.

*Dimensions:*

- longueur,
- diamètre,
- poids,
- position du volume utile.

*Principaux matériaux:*

- métaux,
- isolants,
- dépôt sensible (nature et quantité),
- principales impuretés.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> En particulier les éléments qui peuvent produire des signaux parasites excessifs pour le détecteur, de l'activité résiduelle après irradiation dans le détecteur et absorber des neutrons thermiques.

In some designs, the compensation factor can be changed, for example by adjusting the compensation voltage.

The compensation factor can depend on the intensity of the radiation and its energy spectrum. The compensation should therefore allow for variation in conditions with respect to the gamma radiation source and the detector geometry.

## 10 Connectors and cables

Connectors and cables are often an integral part of the detection channel and should be designed so as not to limit detector performance.

The design of connectors and cables should enable them to be easily manipulated by hand or by remote handing devices without risk of damage.

Care should be taken in particular to avoid electrical interference which could interfere with the operation of measuring channels. To reduce electrical interference, detectors may need to be electrically shielded and the outer shield insulated from the common side of the measuring circuit and from electrical contact with the external frame.

It is also necessary to ensure the continuity of connections and it is desirable for connectors to include a device enabling continuity to be checked at any time.

Detector terminations shall be identified and marked with a label or engraved. The marking shall withstand the environmental conditions.

## 11 Characteristics of detectors including their cables and connectors

### 11.1 General

The list of characteristics given in the following subclauses below gives the data which, where applicable, shall be supplied by the manufacturer.

### 11.2 Detector mechanical data

An outline drawing shall be supplied.

*Dimensions:*

- length,
- diameter,
- weight,
- position of sensitive volume.

*Principal materials:*

- metals,
- insulators,
- sensitive lining (type and amount),
- major impurities.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> In particular, elements which may cause excessive parasitic detector signals, post-irradiation activity in the detector body and thermal neutron absorption.

*Température:*

- gamme de fonctionnement normal,
- valeur maximale admissible.

*Gaz de remplissage:*

- analyse des principaux constituants,
- pression,
- volume de gaz.

*Pression externe:*

- valeur maximale admissible.

*Chocs et vibrations:*

- valeurs limites.

### **11.3 Données électriques et nucléaires du détecteur**

Mode de fonctionnement.

*Tensions de polarisation:*

- polarité,
- valeurs ou valeurs de fonctionnement recommandées,
- valeurs ou valeurs maximales admissibles

*Conditions de compensation:*

- polarité de tension de compensation, valeur recommandée et variation admissible,
- facteur de compensation ou taux de compensation.

*Capacité et résistance d'isolation:*

- d'électrode à électrode
  - d'électrodes à parois
  - entre parois et enveloppe ou blindage
- } en fonction de la température

*Caractéristiques de détection*

- charge électrique libérée par événement ionisant pour le rayonnement à mesurer et pour le rayonnement concomitant principal.
- temps de collection des charges.
- sensibilité:
  - mode en impulsions,
  - mode en courant,
  - mode en fluctuations de courant (mode de Campbell).
- influençabilité:
  - mode impulsions,
  - mode courant,
  - mesure du carré de la tension moyenne (fluctuations).

*Temperature:*

- range of normal operation,
- maximum permissible value.

*Filling gas:*

- analysis of main constituents,
- pressure,
- volume of the gas.

*External pressure:*

- maximum permissible value.

*Shock and vibration:*

- limit values.

### 11.3 Detector electrical and nuclear data

Mode of operation.

*Polarizing voltages:*

- polarity,
- recommended operating value or values,
- maximum permissible value or values.

*Compensation conditions:*

- compensation voltage polarity, recommended value and permissible range,
- compensation factor or compensation ratio.

*Capacitances and insulation resistances:*

- electrode to electrode
  - electrodes to casing
  - casing to frame or interference shielding
- } as a function of temperature

*Detection characteristics*

- electric charge delivered per ionizing event for both the radiation to be measured and the main concomitant radiation.
- charge collection time.
- sensitivity:
  - pulse mode,
  - current mode,
  - current fluctuation mode (Campbelling mode).
- influenceability:
  - pulse mode,
  - current mode,
  - mean square voltage mode (fluctuations).

- bruit de fond  
(Tout signal indésirable produit par la radioactivité naturelle ou celle induite par les matériaux radioactifs du détecteur):
  - à l'origine,
  - après exposition durant une période donnée à un flux neutronique connu.
- débit de fluence neutronique maximal permis (flux).
- débit de dose gamma maximal permis.

*Matière sensible:*

- type,
- pureté.

*Fluence de combustion.*

*Vie utile:*

Le fabricant doit aussi fournir les résultats d'essai produits par les essais décrits par cette norme.

#### 11.4 Données mécaniques des connecteurs

Les grandeurs physiques indiquées en 11.2, applicables aux connecteurs, doivent être spécifiées par le fabricant.

Les facteurs particulièrement importants sont donnés dans le Tableau 1.

**Tableau 1 – Facteurs mécaniques importants pour les connecteurs**

	Fiche mâle	Fiche femelle
Dimensions	Diamètre externe Description du raccordement Dimensions du conducteur central Longueur d'ensemble	Diamètre externe Description du raccordement Dimensions des éléments de raccordement Longueur d'ensemble
Matériaux	Corps Broche centrale Isolant	Corps Broche centrale Isolant

#### 11.5 Caractéristiques électriques des connecteurs

Impédance caractéristique et résistance de fuite à une température donnée et dans des conditions nominales d'utilisation.

*Valeurs maximales:*

- tensions entre électrodes et entre électrodes et enveloppe,
- température,
- pression externe,
- humidité ambiante.

- background signal  
(Any undesired signal produced by natural or induced radioactivity in the materials of the detector):
  - initially,
  - after a given period in a known neutron flux.
- maximum permissible neutron fluence rate (flux).
- maximum permissible gamma dose rate.

*Sensitive material:*

- type,
- purity.

*Burn-up life.*

*Useful life:*

The manufacturer shall also supply the test data produced by the tests described in this standard.

#### 11.4 Connector mechanical data

The physical quantities mentioned in 11.2, when applicable to connectors shall be specified as such by the manufacturer.

Particularly important factors are listed in Table 1.

**Table 1 – Important connector mechanical factors**

	Plug	Socket
Dimensions	Outside diameter Coupling description Center conductor dimensions Overall length	Outside diameter Coupling description Dimensions for mating plug and pin Overall length
Materials	Body Center pin Insulation	Body Center pin Insulation

#### 11.5 Connector electrical characteristics

Characteristic impedance and leakage resistance at rated temperature and nominal conditions of use.

*Maximum ratings:*

- voltage between electrodes and between electrodes and the casing,
- temperature,
- external pressure,
- ambient humidity.

## 11.6 Données mécaniques relatives aux câbles

*Dimensions:*

- diamètre externe,
- diamètre du conducteur central,
- longueur,
- rayon de courbure minimal,
- poids.

*Matériaux:*

- conducteur interne,
- blindage externe,
- isolation.

## 11.7 Caractéristiques électriques des câbles

- résistance de fuite (minimum) à une température et un taux d'humidité donnés,
- capacité par unité de longueur,
- impédance caractéristique et d'atténuation des impulsions (le cas échéant),
- toutes limitations d'utilisation d'origine nucléaire.

*Valeurs maximales:*

- tension entre conducteurs,
- température,
- pression externe,
- humidité ambiante.

## 12 Méthodes d'essais – généralités

Les essais à réaliser sur les détecteurs neutroniques se classent en deux catégories:

- Essais usine (essais de production) pour valider la fabrication et le fonctionnement des détecteurs individuellement.
- Essais de qualification pour valider la conception et les performances des détecteurs.

Lors de la sélection des méthodes d'essais, il convient de prêter attention au fait que les détecteurs pour l'instrumentation et la protection des réacteurs sont conçus avant tout pour réaliser des mesures relatives de rayonnements et non pas des mesures absolues.

## 13 Essais usine

### 13.1 Généralités

Les essais spécifiés interviennent en fin de chaîne de fabrication. Ils doivent être réalisés par le fabricant sur chaque détecteur et son câble (si le câble fait partie intégrante du détecteur), sauf dans le cas d'une production de série importante. Dans ce cas, les essais sont réalisés sur un échantillon approprié.

## 11.6 Cable mechanical data

*Dimensions:*

- outside diameter,
- center conductor diameter,
- length,
- minimum bending radius,
- weight.

*Materials:*

- inner conductor,
- outer screens,
- insulation.

## 11.7 Cable electrical characteristics

- leakage resistance (minimum) at rated temperature and humidity,
- capacitance per unit length,
- characteristic impedance and pulse attenuation (where applicable),
- any nuclear limitations on use.

*Maximum ratings:*

- voltage between conductors,
- temperature,
- external pressure,
- ambient humidity.

## 12 Test methods – general

The tests to be performed on neutron detectors are divided in two categories:

- Factory tests (production tests) to validate the manufacturing and the correct operation of individual detectors.
- Qualification tests to validate the design and performance of the detector.

In selecting test methods, consideration should be given to the fact that detectors for the instrumentation and protection of reactors are designed primarily for relative measurements of nuclear radiation and not for absolute measurements.

## 13 Factory tests

### 13.1 General

The tests specified are final tests in the production process. They shall be performed by the manufacturer on each detector and its cable (if the cable is an integral part of the detector), except where the detector is in large quantity production. In this case, the tests shall be performed on an adequate sample.

Les méthodes d'essais décrites dans cette norme portent sur les caractéristiques électriques, nucléaires et mécaniques. Sauf si cela est spécifié autrement, les essais doivent être réalisés sur un sous-ensemble de détection complet qui inclut les connecteurs et les câbles intégrés. Ceux-ci doivent être la base de l'acceptation définitive.

Beaucoup d'essais sont généralement réalisés durant le processus de construction pour des raisons d'assurance qualité et autres. Parfois ces essais produisent des données importantes concernant les fonctions et/ou la durée de vie potentielle de l'unité qui n'auraient pu être obtenues ou confirmées par des essais sur le produit fini. Si c'est le cas, de tels essais doivent être considérés comme faisant partie des essais usine et leurs résultats doivent être traités et enregistrés comme tels.

Tous les essais matériels doivent être traçables et dûment certifiés au niveau précision.

Pour les tests qui requièrent la sensibilité des détecteurs, la compensation, l'activation, l'influençabilité, etc., il convient de spécifier le spectre d'énergie et l'intensité des rayonnements. Pour ces essais, il est nécessaire de connaître un débit de fluence isotropique ou un débit de dose gamma.

Sauf s'il en est spécifié autrement, les essais doivent être réalisés dans les conditions d'ambiance suivantes:

- Température ambiante:  $25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ,
- Humidité relative: entre 45 % et 80 %.

Les conditions atmosphériques réelles doivent être consignées sur les feuilles d'essais. Conformément aux bonnes pratiques, celles-ci ne doivent pas être sujettes à des variations trop rapides ou trop importantes durant la série d'essais. Une méthode pratique pour éviter de telles variations consiste à placer le détecteur dans une chambre climatique à température constante.

### **13.2 Liste d'essais usine usuels**

Il convient de réaliser les essais suivants, lorsque leur pertinence est avérée:

- a) Essais mécaniques:
  - effets microphoniques (si demandé).
- b) Essais électriques:
  - résistance d'isolement,
  - tenue diélectrique,
  - capacité électrique,
  - bruit de fond.
- c) Essais nucléaires:
  - sensibilité,
  - influençabilité,
  - compensation,
  - tension de saturation ou plateau de saturation,
  - courbe de discrimination ou spectre d'impulsions,
  - facteur de multiplication.
- d) Essais spéciaux. Ceux ci peuvent être demandés pour vérifier un point particulier des spécifications. Par exemple: le temps de collecte et la charge libérée par événement.

The test methods described in this standard relate to electrical, nuclear and mechanical characteristics. Unless otherwise specified, the tests shall be carried out when the detector sub-assembly is complete in all respects including connectors and integral cables. They shall form the basis of final acceptance.

Many tests are usually carried out during the construction process for quality assurance or other reasons. Sometimes such tests provide data that are important to the function and/or the potential lifetime of the unit and yet cannot be obtained or confirmed by tests on finished detectors. If this is the case, such tests shall be considered part of the factory test programme and their results treated and reported accordingly.

All test equipment shall be traceable and appropriately certified for accuracy.

Wherever neutron or gamma radiation tests involving detector sensitivity, compensation, activation, influenceability, etc., are required, the energy spectrum and intensity of the radiation should be specified. For these tests, a known isotropic fluence rate or gamma radiation rate is necessary.

Unless otherwise specified, the tests shall be carried out under the following conditions:

- Ambient temperature:  $25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ,
- Relative humidity: between 45 % and 80 %.

The actual atmospheric conditions shall be stated on the test sheets. In accordance with good practice, they shall not be subject to large or rapid variations during a series of tests. A practical method for avoiding such variations is to place the detector in a climatic chamber at constant temperature.

### **13.2 List of typical factory tests**

The following tests should be carried out wherever they are applicable:

- a) Mechanical tests:
  - microphony (if required).
- b) Electrical tests:
  - insulation resistance,
  - dielectric strength,
  - electrical capacitance,
  - background signal.
- c) Nuclear tests:
  - sensitivity,
  - influenceability,
  - compensation,
  - saturation voltage or counts plateau,
  - discrimination curve or pulse spectrum,
  - multiplication factor.
- d) Special tests. They may be required by the particular detector specification. For example: collection time and charge developed per event.

### 13.3 Essais mécaniques

On doit toujours réaliser les essais mécaniques en premier, ensuite les essais électriques et nucléaires particuliers dont la liste est donnée de 13.4 à 13.9. Les essais mécaniques doivent comprendre au moins une inspection visuelle en plus des essais requis par les spécificités applicatives.

Les essais de vibrations et de chocs sont compris dans les essais de qualification mais peuvent être spécifiés à part.

### 13.4 Essais particuliers pour les compteurs à fission (voir Figure 4)

#### 13.4.1 Généralités

Les conditions générales définies en 13.1 et 13.2 s'appliquent.

Le sous-ensemble de mesure utilisé pour les essais doit être identifié de telle façon que l'on puisse reproduire avec précision ses caractéristiques et sa précision. De plus les moyens permettant la vérification de l'étalonnage à tout instant par un générateur d'impulsions ou par une chambre standardisée doivent être fournis. Les facteurs importants sont: le type de circuit d'entrée (sensible à la charge, à la tension ou au courant), l'impédance du circuit d'entrée, la bande passante, le bruit électronique ramené à l'entrée, le temps mort du discriminateur, l'étendue de mesure et le temps de restitution.

#### 13.4.2 Essais électriques et nucléaires

##### 13.4.2.1 Essais à température ambiante

- a) Lorsque c'est possible, les capacités entre les électrodes, d'une part, et entre les électrodes et l'enveloppe externe doivent être mesurées et la continuité de tous les câbles de connexion doit être vérifiée.
- b) Le courant de fuite entre l'enveloppe externe et tout écran additionnel doit être mesuré à une tension spécifiée. Il ne doit pas y avoir de claquage conformément aux spécifications.
- c) Le courant alpha de la chambre augmenté du courant de fuite entre électrodes doit être mesuré sur une plage de tensions spécifiée et, le cas échéant, le courant de fuite entre les électrodes et l'enveloppe externe de la chambre doit être mesuré à une tension spécifiée. Il ne doit pas y avoir de claquage conformément aux spécifications.
- d) La chambre doit être connectée à la chaîne de mesure et les courbes de discrimination doivent être tracées pour une tension de polarisation nulle et pour la tension de polarisation de fonctionnement.

La courbe à tension nulle doit être utilisée pour vérifier que le niveau de bruit d'amplification reste satisfaisant, et la courbe à la tension de fonctionnement doit être enregistrée pour définir l'activité alpha de la chambre.

Le seuil effectif de discrimination doit être exprimé en unités identifiables de courant ou de charge. Dans ce but, les unités absolues sont préférables, même si d'autres unités non absolues telles que les «paires d'ions» sont plus courantes.

- e) La chambre doit être exposée à un débit de fluence neutronique perturbé reproductible donnant un taux de comptage d'au moins 10 cps à la tension de fonctionnement spécifiée. La courbe de discrimination doit alors être tracée et la consigne du discriminateur définie.
- f) La courbe caractéristique de palier haute tension doit être tracée en utilisant un seuil de discrimination défini.

### 13.3 Mechanical tests

Mechanical tests shall always be performed first, followed by the specific electrical and nuclear tests listed in 13.4 to 13.9. The mechanical tests shall comprise at least a visual inspection supplemented by such tests as are required for the specific application.

Vibration and impact tests are included in the qualification tests but may be additionally specified.

### 13.4 Specific tests for fission counters (see Figure 4)

#### 13.4.1 General

The general conditions defined in 13.1 and 13.2 apply.

The measuring sub-assembly used for tests shall be identified in such a way that its accuracy and characteristics can be accurately reproduced. In addition, means shall be provided to check its calibration at any time either by pulse generators or by a standard chamber. The important factors are: input circuit type (charge, voltage or current sensitive), input circuit impedance, overall frequency response, input level, discriminator dead time, dynamic range and recovery time.

#### 13.4.2 Electrical and nuclear tests

##### 13.4.2.1 Tests at ambient temperature

- a) Where possible, the capacitance between the electrodes and between the electrodes and the outer case shall be measured and the continuity of all connecting cables verified.
- b) The leakage current between the outer case and any additional outer screen shall be measured at a specified voltage. It shall be demonstrated that the breakdown voltage exceeds specification.
- c) The chamber alpha current plus the leakage current between the electrodes shall be measured over a specified voltage range and, where applicable, the leakage current between the electrodes and the chamber case shall be measured at a specified voltage. It shall be demonstrated that the breakdown voltage exceeds specification.
- d) The chamber shall be connected to the measuring channel and discriminator curves plotted for zero polarizing voltage and for the specified operation polarizing voltage.

The zero voltage curve shall be used to determine that amplifier noise is satisfactory, and the operating voltage curve shall be recorded to define the alpha activity of the chamber.

The effective discriminator level shall be expressed in identifiable units of current or charge. Absolute units are preferable for this purpose although other, non-absolute units such as "ion pairs" are in common use.

- e) The chamber shall be exposed to a known reproducible perturbed neutron fluence rate (flux) which gives a count rate of at least 10 cps at the specified operating voltage. A discriminator curve shall be plotted and a discriminator setting determined.
- f) The polarizing plateau characteristic curve shall be plotted using a selected discriminator level.

- g) Si nécessaire, le temps moyen de collection électronique de la chambre doit être mesuré.  
 Pour les impulsions de courant (où la constante de temps du circuit de mesure est très inférieure au temps de collection), le temps de collection électronique est représenté par la moyenne de la largeur des impulsions.<sup>2</sup>  
 Pour les impulsions de charge (la constante de temps du circuit de mesure est très supérieure au temps de collection), le temps de collection est mesuré par le temps de montée de l'impulsion résultante comme défini dans la CEI 60050-394.
- h) La charge électrique ou le courant développé par impulsion pour une tension de polarisation et un seuil de discrimination spécifiés doit être enregistré, lorsque cela est exigé. Ceci peut être déterminé à partir des caractéristiques de l'impulsion ou par des mesures spéciales.

#### 13.4.2.2 Essais à la température maximale de fonctionnement

Cet essai n'est pas nécessaire pour les chambres dont la température maximale de fonctionnement ne dépasse pas 100 °C.

- a) La chambre avec une longueur de câble appropriée doivent être placée dans une étuve et la température montée à la valeur maximale de fonctionnement dans des limites définies. La continuité électrique de tous les câbles doit être vérifiée partout où cela est possible.  
 Le courant de fuite entre l'enveloppe de la chambre et tout écran additionnel externe doit être mesuré à une tension spécifiée. Il ne doit pas y avoir de claquage conformément aux spécifications.
- b) Le courant alpha des chambres augmenté du courant de fuite entre les électrodes doit être mesuré sur une gamme de tensions spécifiée et, le cas échéant, le courant de fuite entre les électrodes et l'enveloppe de la chambre doit être mesuré à une tension spécifiée. Il ne doit pas y avoir de claquage conformément aux spécifications.
- c) La chambre doit être connectée à la chaîne de mesure et les courbes de discrimination doivent être tracées avec une tension de polarisation nulle et avec une tension de polarisation de fonctionnement spécifiée.  
 La courbe à tension nulle doit être utilisée pour s'assurer que le bruit de fond d'amplification reste à un niveau satisfaisant et la courbe à la tension de fonctionnement doit être enregistrée pour définir l'activité alpha de la chambre.
- d) La chambre doit être exposée au même débit de fluence neutronique que celui cité au point e) de 13.4.2.1, et la courbe de discrimination doit être tracée. La courbe doit être cohérente avec celle citée au point e) de 13.4.2.1 avec une tolérance permise spécifiée.
- e) La courbe caractéristique du palier haute tension doit être tracée en utilisant un seuil de discrimination défini après le passage de l'essai décrit au point e) de 13.4.2.1.
- f) Si nécessaire, le temps moyen de collection électronique de la chambre doit être mesuré.
- g) La chambre et ses câbles ne doivent pas rester moins de 100 h à la température maximale de fonctionnement. Au bout de cette période et tant que la chambre et ses câbles sont encore à cette température, on doit refaire les essais décrits aux points a), b), c), d), e) et f) de 13.4.2.1.

Les résultats obtenus doivent rester dans les limites spécifiées.

#### 13.4.2.3 Répétition des essais à température ambiante

Une fois les essais réalisés à la température maximale de fonctionnement, il faut refroidir le sous-ensemble à la température ambiante. Les essais décrits aux points a), b), c), d), e), f), et g) de 13.4.2.2 doivent être répétés. Les résultats obtenus doivent rester dans les limites spécifiées.

<sup>2</sup> La largeur de l'impulsion est définie par l'intervalle de temps mesuré sur la ligne droite parallèle à l'axe des temps se situant en les points ayant une ordonnée égale à 10 % de l'amplitude de l'impulsion.

- g) When required, the mean electron collection time of the chamber shall be measured.  
In the case of current pulses (time constant of the measuring circuit much shorter than the collection time), the electron collection time is represented by the pulse width.<sup>2</sup>  
In the case of charge collection (time constant of the measuring circuit much greater than the collection time), the collection time is measured by the resultant pulse rise time as defined in IEC 60050-394.
- h) The electric charge or current per pulse at the specified polarizing potential and at a given discriminator level shall be recorded, if required. This may be determined from the characteristics of the pulse or by a special measurement.

#### 13.4.2.2 Tests at maximum operating temperature

This test does not need to be carried out on those chambers whose maximum working temperature will not exceed 100 °C.

- a) The chamber and an appropriate length of cable shall be placed in an oven and the temperature raised to the maximum operating temperature within defined limits. All connecting cables shall be verified for electrical continuity where possible. The leakage current between the chamber case and any additional outer screen shall be measured at a suitable voltage. It shall be demonstrated that the breakdown voltage exceeds specification.
- b) The chamber alpha current plus the leakage current between the electrodes shall be measured over a specified voltage range and, where applicable, the leakage current between the electrodes and the chamber case shall be measured at a specified voltage. It shall be demonstrated that the breakdown voltage exceeds specification.
- c) The chamber shall be connected to the measuring channel and discriminator curves plotted for zero polarizing voltage and for the specified operating polarizing voltage.  
The zero voltage curve shall be used to determine that amplifier noise is satisfactory, and the operating voltage curve shall be recorded to define the alpha activity of the chamber.
- d) The chamber shall be exposed to the same neutron fluence rate (flux) used in item e) of 13.4.2.1 and a discriminator curve plotted. The curve shall agree with that obtained in item e) of 13.4.2.1 within specified limits.
- e) The polarizing plateau characteristic curve shall be plotted using the discriminator level defined after the test under item e) of 13.4.2.1.
- f) When required, the mean electron collection time of the chamber shall be measured.
- g) The chamber and its cables shall remain at the maximum operating temperature for not less than 100 h. At the end of this time and while the chamber and its cables are still at this temperature, the tests under items a), b), c), d), e), and f) of 13.4.2.1 shall be repeated.  
The results obtained shall remain within specified limits.

#### 13.4.2.3 Repeat tests at ambient temperature

After the tests at the maximum operating temperature, the sub-assembly shall be allowed to cool to ambient temperature. The tests under items a), b), c), d), e), f), and g) of 13.4.2.2 shall be repeated. The results obtained should remain within specified limits.

---

<sup>2</sup> The pulse width is defined by the interval of time measured on the straight line parallel to the time axis and between points with an ordinate equal to 10 % of the pulse amplitude.

Si les essais décrits en 13.4.2.2 n'ont pas été effectués du fait d'une température de fonctionnement inférieure à 100 °C, il faut que plus de 100 h séparent le déroulement des essais du 13.4.2.1 du déroulement de ceux du 13.4.2.3.

### 13.4.3 Sensibilité neutronique dans la plage de linéarité

La sensibilité de la chambre aux neutrons pour une tension de fonctionnement spécifiée doit être déterminée. Ceci peut être fait en mesurant la densité du flux neutronique en utilisant l'essai décrit au point e) de 13.4.2.1 ou par une mesure spéciale.

## 13.5 Essais particuliers pour les compteurs proportionnels

### 13.5.1 Généralités

Les essais concernent tous les types de compteurs proportionnels ( $\text{BF}_3$ , dépôt de bore ou  $\text{He}_3$ ).

Les conditions générales applicables sont définies en 13.1 et 13.2.

### 13.5.2 Essais électriques et nucléaires

#### 13.5.2.1 Essais à température ambiante

- a) Le courant de fuite entre l'anode et l'enveloppe du compteur doit être mesuré à une tension de fonctionnement spécifiée. Il ne doit pas y avoir de claquage conformément aux spécifications.
- b) Le tube compteur doit être exposé à un débit de fluence neutronique perturbé et la sortie de l'amplificateur de la chaîne de mesure doit être connectée à un analyseur multicanal. La tension de polarisation doit être appliquée au compteur et ajustée pour que le pic du spectre relevé sur l'analyseur soit situé à une abscisse prédéfinie. La tension appliquée et la pleine largeur de spectre à mi-hauteur doivent être enregistrées. Pour les compteurs proportionnels à dépôt de bore, d'autres données telles que l'ensemble du spectre peuvent être enregistrées à la place de la largeur à mi-hauteur de celui-ci.
- c) La courbe palier haute tension doit être tracée à un seuil de discrimination fixé.
- d) Une courbe de discrimination doit être tracée pour une polarisation haute tension spécifiée. On peut obtenir à partir de cette courbe la sensibilité neutronique pour une polarisation haute tension et un seuil de discrimination spécifiés.

#### 13.5.2.2 Essais à la température maximale de fonctionnement

Il n'est pas besoin d'effectuer cet essai pour les compteurs dont la température maximale de fonctionnement ne dépasse pas 100 °C.

- a) Le compteur équipé d'une longueur de câble appropriée doit être placé dans une étuve et la température doit être élevée à la valeur maximale de fonctionnement dans les limites définies.
- b) Les essais décrits aux points a) et b) de 13.5.2.1 doivent être répétés. Les résultats obtenus doivent être les mêmes à l'intérieur des limites spécifiées. Il ne doit pas y avoir de claquage conformément aux spécifications.
- c) Le compteur et ses câbles ne doit pas rester moins de 100 h à la température maximale de fonctionnement. Au bout de cette période, tant que le compteur et ses câbles sont encore à cette température, les essais décrits aux points a) et b) de 13.5.2.1 doivent être répétés. Les résultats obtenus doivent rester les mêmes dans les limites spécifiées.

If the tests of 13.4.2.2 have been omitted because the operating temperature is less than 100 °C, at least 100 h shall elapse between the tests of 13.4.2.1 and 13.4.2.3.

### 13.4.3 Neutron sensitivity in the linear range

The chamber neutron sensitivity at a specified operating voltage shall be determined. This may be done by measuring the neutron flux density used in item e) of 13.4.2.1 or by a special measurement.

## 13.5 Specific tests for proportional counter tubes

### 13.5.1 General

These tests concern all kinds of proportional counters ( $\text{BF}_3$ , Boron coated or  $\text{He}_3$ ).

The general conditions defined in 13.1 and 13.2 apply.

### 13.5.2 Electrical and nuclear tests

#### 13.5.2.1 Tests at ambient temperature

- a) The leakage current between the anode wire and the counter case shall be measured at a specified voltage. It shall be demonstrated that the breakdown voltage exceeds specification.
- b) The counter tube shall be exposed to a known reproducible perturbed neutron fluence rate (flux) and the output of the measuring channel amplifier shall be connected to a multi-channel analyzer. The polarizing voltage shall be applied to the counter tube and adjusted until the peak of the spectrum on the analyzer is at a predetermined position. The applied voltage and the spectrum full width at half-magnitude shall be recorded. For the boron-lined proportional counter tube, other data such as the whole spectrum may be recorded instead of full width at half-magnitude.
- c) A polarizing voltage plateau curve shall be plotted at a specified discriminator level.
- d) A discrimination curve shall be plotted at a specified polarizing voltage. From that curve, the neutron sensitivity may be obtained for the specified polarizing voltage and discriminator level.

#### 13.5.2.2 Tests at maximum operating temperature

The test does not need to be carried out on those counter tubes whose maximum working temperature will not exceed 100 °C.

- a) The counter tube and an appropriate length of cable shall be placed in an oven and the temperature raised to the maximum operating temperature within defined limits.
- b) The tests under items a) and b) of 13.5.2.1 shall be repeated. The results obtained shall be the same within specified limits. It shall be demonstrated that the breakdown voltage exceeds specification.
- c) The counter tube and its cables shall remain at the maximum operating temperature for not less than 100 h. At the end of this time and while the counter tube and its cables are still at this temperature, the foregoing tests under items a) and b) of 13.5.2.1 shall be repeated. The results obtained shall be the same within specified limits.