

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60568

Deuxième édition
Second edition
2006-01

**Centrales nucléaires de puissance –
Instrumentation importante pour la sûreté –
Appareillage de mesure du débit de fluence
neutronique dans le coeur des réacteurs**

**Nuclear power plants –
Instrumentation important to safety –
In-core instrumentation for neutron fluence
rate (flux) measurements in power reactors**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60568:2006

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)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (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) 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
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)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line 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) 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
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60568

Deuxième édition
Second edition
2006-01

**Centrales nucléaires de puissance –
Instrumentation importante pour la sûreté –
Appareillage de mesure du débit de fluence
neutronique dans le coeur des réacteurs**

**Nuclear power plants –
Instrumentation important to safety –
In-core instrumentation for neutron fluence
rate (flux) measurements in power reactors**

© IEC 2006 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 Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

P

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
1 Domaine d'application et objet	12
2 Références normatives	12
3 Termes et définitions	14
4 Généralités	16
5 Conception du système: exigences générales	18
6 Détecteurs de neutrons à mesure directe placés dans le cœur: exigences générales	22
7 Caractéristiques mécaniques	24
8 Caractéristiques électriques et nucléaires	26
9 Domaine de fonctionnement	28
10 Essais sur prototype	28
11 Essais industriels	28
12 Vérification du système avant mise en exploitation	30
13 Retrait d'exploitation	30

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60568:2006

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	9
1 Scope and object.....	13
2 Normative references	13
3 Terms and definitions	15
4 General considerations.....	17
5 System design: general requirements	19
6 On-line in-core neutron detectors: general requirements	23
7 Mechanical characteristics.....	25
8 Electrical and nuclear characteristics.....	27
9 Range of operating conditions	29
10 Prototype testing	29
11 Production testing	29
12 Testing of system before operation.....	31
13 Disposal	31

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60568:2006

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION IMPORTANTE POUR LA SÛRETÉ – APPAREILLAGE DE MESURE DU DÉBIT DE FLUENCE NEUTRONIQUE DANS LE CŒUR DES RÉACTEURS

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 60568 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 1977. Cette édition constitue une révision technique.

La révision de cette norme a été faite dans l'intention de:

- mettre à jour les références aux nouvelles normes éditées depuis la première publication et en particulier les publications CEI 61513 et CEI 61226;
- mettre en cohérence cette norme et la nouvelle norme CEI 61468:2000 et son amendement 1:2003;

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**NUCLEAR POWER PLANTS –
INSTRUMENTATION IMPORTANT TO SAFETY –
IN-CORE INSTRUMENTATION FOR NEUTRON FLUENCE RATE (FLUX)
MEASUREMENTS IN POWER REACTORS**

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 60568 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 1977. It constitutes a technical revision.

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

- to up-date the reference to new standards published since the first issue, including IEC 61513 and IEC 61226;
- to address the consistency with the new IEC 61468:2000 and its amendment 1:2003;

- adapter les définitions;
- mettre à jour la présentation en conformité avec les directives actuelles CEI/ISO sur le style des normes.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45A/596/FDIS	45A/603/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 60568:2006

- to adapt the definitions;
- to update the format to align with the current IEC/ISO directives on style of standards.

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

FDIS	Report on voting
45A/596/FDIS	45A/603/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 60568-2:2006

INTRODUCTION

Contexte technique, questions importantes et structure du document

Cette norme internationale traite spécifiquement des problèmes liés aux systèmes d'instrumentation en cœur. Un système d'instrumentation doit être considéré comme un système de mesure délivrant des signaux en provenance des détecteurs. Les calculs de la puissance et de sa distribution ne sont pas couverts par cette norme. Elle précise les principes des mesures relatives à la distribution de puissance à partir des signaux fournis par divers types de détecteurs: collectrons, chambres à fission ou calorimètres. Elle est organisée en articles donnant en particulier

- les exigences générales pour les systèmes;
- les exigences générales pour les détecteurs à mesure directe pour les mesures en cœur comprenant en particulier les caractéristiques mécaniques, électriques et nucléaires et la dynamique de mesure;
- les exigences pour tester les détecteurs (prototype et production en série);
- les exigences pour tester le système;
- les recommandations pour manipuler les détecteurs après fonctionnement.

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

La CEI 60568 est le document de troisième niveau du SC 45A de la CEI traitant de l'appareillage de mesure du débit de fluence neutronique dans le cœur des réacteurs.

Pour plus de détails sur la collection de normes du SC 45A de la CEI voir la quatrième partie de cette introduction.

Recommandations et limites relatives à l'application de cette norme

Il convient que cette norme soit considérée avec la CEI 61468:2000 et son amendement 1:2003, qui fournissent les précisions nécessaires relatives aux collectrons.

Description de la structure de la collection des normes du SC 45A de la CEI et relations avec les documents de la CEI et d'autres organisations (AIEA et 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 elle 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 informatisés, et la conception des salles de commande. Il convient de considérer que ces normes de second niveau forment avec la CEI 61513 un ensemble documentaire cohérent.

Au troisième niveau, les normes du SC 45A de la CEI qui ne sont pas référencées directement par la 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

Technical background, main issues and organisation of the standard

This International Standard addresses the issues specific to in-core instrumentation systems. A system is understood as a measurement system producing the signals from the detectors. The calculation of power and its distribution are not within the scope of this standard. This standard gives the principles of power distribution measurements based on several types of detectors: Self Powered Neutron Detectors (SPND), fission chambers or calorimeters. It is organised into the following major sections providing:

- the general requirements for systems,
- the general requirements for on-line in-core detectors including mechanical, electrical and nuclear characteristics and the range of operation,
- the requirements for testing of detectors (prototype, serial production),
- the requirements for testing the system,
- recommendations for maintenance of the detectors after operation.

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

IEC 60568 is the third level IEC SC 45A document tackling the specific issue of in-core instrumentation for neutron fluence rate measurement in power reactors.

For more details on the structure of the IEC SC 45A standard series, see the fourth part of this introduction.

Recommendation and limitation regarding the application of this standard

This standard should be considered in combination with IEC 61468:2000 and its amendment 1:2003 which provide clarification regarding the applicability to Self Powered Neutron Detectors (SPND).

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 instrumentation and control systems and equipment (I&C systems) 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, publication fondamentale de sécurité, avec un cycle de vie et de sûreté global, un cycle de vie et de sûreté des systèmes, et elle fournit une interprétation des exigences générales de la CEI 61508-1, de la CEI 61508-2 et de la CEI 61508-4, pour le secteur nucléaire. La conformité à cette norme 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 d'application nucléaire.

La CEI 61513 fait référence aux normes ISO ainsi qu'à l'AIEA 50-C-QA 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 NS-R-1 "Safety of Nuclear Power Plants: Design – Requirements" et le guide NS-G-1.3 "Instrumentation and Control Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants – Safety Guide". La terminologie et les définitions utilisées dans les normes produites par le SC 45A de la CEI sont conformes à celles utilisées par l'AIEA.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60568:2006

A fourth level extending the 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 this standard 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 for topics related to quality assurance.

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 nuclear power plants and in the IAEA safety series, in particular the Requirements NS-R-1, "Safety of Nuclear Power Plants: Design" and the Safety Guide NS-G-1.3, "Instrumentation and control systems important to safety in Nuclear Power Plants". The terminology and definitions used by IEC SC 45A standards are consistent with those used by the IAEA.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60568-2:2006

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION IMPORTANTE POUR LA SÛRETÉ – APPAREILLAGE DE MESURE DU DÉBIT DE FLUENCE NEUTRONIQUE DANS LE CŒUR DES RÉACTEURS

1 Domaine d'application et objet

La présente norme est applicable aux détecteurs de neutrons à mesure directe placés à l'intérieur même du cœur d'un réacteur, ainsi qu'aux composants et à l'instrumentation associés, conçus pour des applications importantes pour la sûreté des réacteurs comme la protection, l'information ou la conduite. Les types de détecteurs généralement utilisés sont les chambres d'ionisation à courant continu, les chambres à fission et les collectrons.

La présente norme fournit des recommandations pour la conception de l'instrumentation de mesure du débit neutronique dans le cœur des réacteurs thermiques conçus pour la production d'énergie.

Cette norme insiste plus particulièrement sur les aspects généraux de conception des systèmes à mesure directe.

Pour les principes de conception d'ensemble du système et les buts visés par les mesures de fluence neutronique, il convient de faire référence à la CEI 61513.

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 60880:1986, *Logiciel pour les calculateurs utilisés dans les systèmes de sûreté des centrales nucléaires*

CEI 60987:1989, *Calculateurs programmés importants pour la sûreté des centrales nucléaires*

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 61468:2000, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation en-cœur – Caractéristiques et méthodes d'essais des collectrons*
Amendement 1 (2003)

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

CEI 62138:2004, *Centrales nucléaires – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Aspects logiciels des systèmes informatisés réalisant des fonctions de catégories B ou C*

NUCLEAR POWER PLANTS – INSTRUMENTATION IMPORTANT TO SAFETY – IN-CORE INSTRUMENTATION FOR NEUTRON FLUENCE RATE (FLUX) MEASUREMENTS IN POWER REACTORS

1 Scope and object

This standard applies to on-line in-core neutron detectors, together with associated components and instrumentation, designed for purposes important to reactor safety: protection, information or control. The detector types usually used are direct current ionization chambers, fission ion chambers and self-powered neutron detectors.

This standard provides guidance for the design of in-core instrumentation for neutron fluence rate measurements in thermal neutron reactors designed for power production.

The major emphasis in this standard is on the general design aspects of on-line systems.

For the principles of overall system design and for the purpose of neutron flux measurements, reference should be made to IEC 61513.

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 60880:1986, *Software for computers in the safety systems of nuclear power stations*

IEC 60987:1989, *Programmed digital computers important to safety for nuclear power stations*

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

IEC 61468:2000, *In-core instrumentation – Characteristics and test methods of self-powered neutron detectors*
Amendment 1 (2003)

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

IEC 62138:2004, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Software aspects for computer-based systems performing category B or C functions*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants sont applicables:

3.1

signal additionnel (bruit de fond)

les signaux additionnels (bruit de fond) font partie du signal de sortie sans être liés à la valeur mesurée (par exemple les effets des rayonnements gamma pour les détecteurs de fluence neutronique ou une partie du courant dans l'âme du câble des collecteurs, et, dans les thermocouples, l'erreur additionnelle causée par les rayonnements gamma)

3.2

fluence de combustion (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

[CEI 60050-394:1995, 394-18-30]¹

3.3

détecteur de neutrons dans le cœur

détecteur fixe ou mobile, conçu pour mesurer le débit de fluence neutronique ou la fluence neutronique en un point défini ou dans une région du cœur d'un réacteur ou de l'enveloppe primaire (cuve)

3.4

limite de l'erreur de sortie

valeur de l'écart maximal possible du signal de sortie du détecteur comparée à la valeur exacte mesurée en condition de fonctionnement normal, pour la durée de fonctionnement totale fixée à la conception

3.5

signal principal

partie du signal liée à la valeur mesurée (par exemple densité du flux neutronique pour les détecteurs de flux neutronique)

3.6

détecteur de neutrons à mesure différée

détecteur de neutrons avec lequel on n'a accès au signal de sortie qu'après le retrait du détecteur du poste de mesure. La partie exposée aux neutrons peut se présenter sous la forme d'un gaz ou d'un liquide de volume défini ou sous une forme solide telle qu'un fil, un jeu de billes, etc.

Après exposition aux rayonnements, les mesures de radioactivité induite par les neutrons sont effectuées ailleurs à l'aide de moyens appropriés.

3.7

détecteur de neutrons à mesure directe

détecteur qui produit un signal représentatif du débit de fluence neutronique lorsqu'il est dans sa position de mesure

¹ CEI 60050-394:1995, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 394: Instrumentation nucléaire: Instruments*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply:

3.1

additional signal

additional (background) signals are part of output value not directly related to the measured value (for example, gamma radiation effect for neutron flux detectors or part of signal wire current for SPND, additional error of thermocouple caused by gamma radiation)

3.2

burn-up life (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

[IEC 60050-394:1995, 394-18-30]¹

3.3

in-core neutron detector

detector, fixed or movable, designed for the measurement of neutron fluence rate (flux) or neutron fluence at a defined point or in a region of a reactor core or primary (vessel) envelope

3.4

limit of output error

maximal value of possible deviation of output detector signal compared to correct value under normal operational conditions for the whole design operation time

3.5

main signal

part of output value caused by the measured value effect (for example neutron flux density for neutron flux detectors)

3.6

off-line neutron detector

detector, the output signal of which is not available for readout until the detector has been removed from the measuring position. The part subjected to neutron exposure may be in the form of a gas or fluid of defined volume or in a solid form such as a wire, a set of balls, etc.

After exposure, the neutron-induced radioactivity of that part is measured at a different location by suitable means

3.7

on-line neutron detector

detector which produces a signal representative of the neutron fluence rate while it is in the measuring position

¹ IEC 60050-394:1995, *International Electromechanical Vocabulary – Chapter 394: Nuclear Instrumentation: Instruments*

3.8

débit perturbé de fluence neutronique

débit de fluence neutronique moyen dans la zone où se trouve le détecteur lorsque ce dernier est en place. Cette grandeur est égale au signal de sortie du détecteur divisé par sa sensibilité vraie (non perturbée) et est pratiquement égale au débit moyen de fluence neutronique qui traverse la surface du détecteur

3.9

sensibilité

⟨détecteur⟩

la sensibilité d'un détecteur au rayonnement à mesurer est donnée par

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

Si le détecteur a une réponse linéaire et donne un signal de sortie négligeable pour une grandeur d'entrée nulle,

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

3.10

matière sensible

⟨détecteur de neutrons⟩ matière utilisée dans certains détecteurs de neutrons, sous forme soit de dépôt soit de gaz, en vue de donner naissance par réaction nucléaire avec les neutrons à des particules directement ionisantes

[CEI 60050-394:1995, 394-10-13, modifiée]

3.11

fonction de transfert (transmission, réponse)

relation mathématique liant le signal de sortie au signal d'entrée, déterminée par la variation du signal de sortie correspondant à la variation d'une unité du signal d'entrée

3.12

vie utile ⟨détecteur de neutrons⟩

durée de fonctionnement, dans des conditions d'irradiation et d'ambiance comprises entre des limites spécifiées, au-delà de laquelle les caractéristiques d'un détecteur se situent hors des tolérances spécifiées

NOTE La vie utile peut s'exprimer en fluence reçue, en nombre d'impulsions fournies, etc.

[CEI 60050-394:1995, 394-18-29]

3.13

débit non perturbé de fluence neutronique

débit moyen de fluence neutronique dans la zone prévue pour le détecteur lorsque celui-ci n'est pas en place

4 Généralités

- a) Dans le cas des réacteurs de puissance, il peut être important, pour des raisons d'exploitation, de surveiller non seulement la valeur moyenne du débit de fluence neutronique dans l'ensemble du cœur, mais aussi sa distribution dans l'espace. Les mesures locales positionnées à des endroits particuliers sont souvent combinées avec des fonctions de commande locales dont le but est d'assurer des marges suffisantes pour les paramètres du système de protection ou de permettre une utilisation optimale du combustible. Suivant le type de réacteur, cela peut être réalisé de façon relative ou absolue.

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

mean neutron fluence rate at a location with the neutron detector placed in the same position for measurement. This quantity is equal to the detector output divided by its true (unperturbed) sensitivity and is practically equal to the neutron fluence rate averaged over the detector surface.

3.9**sensitivity** (detector)

sensitivity of a detector to the radiation to be measured is given by:

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

If the detector is linear and has a negligible output signal for zero input,

$$S = \frac{\text{output quantity (detector response)}}{\text{input quantity (radiation to be measured)}}$$

3.10**sensitive material** (neutron detector)

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

[IEC 60050-394:1995, 394-10-13, modified]

3.11**transformation (transmission, response) function**

mathematical relationship of the output signal to the input signal, described by determining the variation of the output signal for a unit change of the input signal

3.12**useful life** (neutron detector)

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

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

[IEC 60050-394:1995, 394-18-29]

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

mean neutron fluence rate at a location without the neutron detector placed in the same position

4 General considerations

- a) In a power reactor it may be important, for operational reasons, to monitor not only the mean value of the in-core neutron fluence rate (flux) over the whole reactor core but also its spatial distribution. Local measurements at a particular position in the core are often combined with local control functions, the purposes of which are to ensure adequate safety margins for protection system parameters or to provide for optimum utilization of the fuel. Depending on the reactor type, this may be performed on a relative or an absolute basis.

- b) Il est parfois nécessaire de procéder à l'aide de détecteurs locaux dans le cœur à des mesures du débit de fluence neutronique pour des raisons de sûreté – par exemple afin de protéger le combustible d'avaries causées par des perturbations locales du débit du fluide de refroidissement ou par des élévations transitoires de la densité de puissance. De telles conditions anormales de fonctionnement peuvent ne pas être identifiées avec une précision suffisante à l'aide des moyens de mesure situés à l'extérieur du cœur. Dans ce cas, les ensembles de mesure interne au cœur sont généralement raccordés au système de protection du réacteur.
- c) L'instrumentation de débit de fluence neutronique dans le cœur du réacteur peut aussi être utilisée pour des renseignements de caractère plus général sur le réacteur ou sur le fonctionnement de ses composants. Des renseignements issus des données de débit de fluence neutronique peuvent par exemple porter sur les vibrations des composants internes du réacteur, des phénomènes d'ébullition du liquide de refroidissement, la fluence neutronique globale concernant des assemblages combustible individuels, etc.
- d) Pour certains réacteurs, l'instrumentation de mesure du débit de fluence neutronique externe à l'enveloppe primaire ne peut être utilisée pour les opérations de démarrage ou pour le fonctionnement en régime intermédiaire. La mesure et le contrôle des conditions globales et locales de puissance du réacteur peuvent ainsi être assurés sur tout ou partie de l'étendue de mesure exigée, au moyen des détecteurs de neutrons placés dans le cœur du réacteur.
- e) On peut avoir besoin d'une instrumentation spéciale dans le réacteur pour faciliter l'étalonnage périodique de l'instrumentation de mesure du débit de fluence neutronique décrite ci-dessus dans les alinéas a) à d). A cette fin, on peut utiliser des techniques d'activation isotopiques ou bien des détecteurs à mesure directe placés dans le cœur.
- f) Certaines parties de l'instrumentation placée dans le cœur peuvent être placées dans des conditions d'environnement très sévères. L'exposition à des rayonnements neutronique et gamma intenses est susceptible d'entraîner des transformations et des modifications structurales des matériaux utilisés et d'affecter les propriétés électriques et mécaniques des matériels. Ainsi, le choix des matériaux appropriés doit faire l'objet d'une attention toute particulière. En outre, on doit généralement prendre en compte au niveau de la conception les effets liés aux hautes pressions environnementales, aux variations cycliques de pression, aux hautes températures, aux gradients et aux cycles de température et aux conditions d'ambiance corrosives.
- g) Les parties du système d'instrumentation qui sont installées à l'intérieur de l'enveloppe primaire sont généralement inaccessibles pour les activités de maintenance ou pour leur remplacement durant de longues périodes de temps. On doit faire appel à la redondance pour garantir la disponibilité adéquate du système. On doit répartir géographiquement les détecteurs pour garantir une couverture appropriée malgré un nombre acceptable spécifié de défaillances de ceux-ci.
- h) Les câbles de certains types de détecteurs sont protégés par un isolant minéral, relativement épais et ne sont pas très flexibles. Ceux-ci ont souvent besoin de boîtes de jonction spéciales et de connecteurs, situés dans des zones proches des traversées de l'enveloppe primaire du réacteur, et qui doivent être accessibles pour le personnel d'exploitation à des fins de maintenance ou de remplacement des détecteurs. Durant la conception des cavités et des protections du réacteur, il convient de s'assurer que la localisation des détecteurs convient. Les méthodes utilisées pour la fabrication, l'installation et les essais de tels câbles peuvent aussi faire l'objet d'une attention toute particulière.

5 Conception du système: exigences générales

- a) On doit évaluer soigneusement l'influence possible de l'instrumentation installée dans le cœur sur les caractéristiques opérationnelles du réacteur. En particulier cette évaluation doit prendre en compte les transitoires extrêmes de réactivité qui peuvent être produits par un mauvais fonctionnement prévisible d'un matériel, une perturbation possible du flux de réfrigérant dans les conditions d'exploitation normales ou anormales, tous les risques liés la perturbation d'une action de sûreté par un matériel défaillant et le risque qu'un mauvais fonctionnement ne provoque un endommagement de l'enveloppe primaire.

- b) Measurements of neutron fluence rate (flux) with local in-core detectors are, in some cases, necessary for safety reasons – for example, for protecting the fuel from damage caused by local disturbances in the coolant flow or by transients in the local power density. Such abnormal conditions may not be identified with sufficient sensitivity by means of measurements outside the core. In this case, the in-core measuring assemblies are usually connected to the reactor protection system.
- c) In-core neutron fluence rate (flux) instrumentation may also be used to provide information of a more general nature about the reactor or about component performance. Examples of information derived from neutron fluence rate data are vibration of in-core components, boiling phenomena in a liquid coolant, total neutron fluence on individual fuel assemblies, etc.
- d) In some reactors, neutron fluence rate (flux) instrumentation outside the primary envelope cannot be used for start-up and intermediate power operations. Measurement and control of gross reactor power and local power conditions may therefore be provided over part or all of the required range by means of in-core neutron detectors.
- e) Special in-core instrumentation may be needed to facilitate periodic recalibration of the neutron fluence rate (flux) instrumentation described in items a) to d) above. Both isotopic activation techniques and movable in-core detectors may be used for this purpose.
- f) Parts of the in-core instrumentation system may be located in very severe environments. Exposure to high neutron and gamma radiations is liable to cause transformations and structural changes in the materials used and to affect the mechanical and electrical properties of the equipment. Great care shall therefore be taken in the choice of suitable materials. Furthermore, design consideration shall, in most cases, be given to the effects of high environmental pressure, pressure cycling, high temperature, temperature gradients, temperature cycling and corrosion influence of environments.
- g) Those parts of the instrumentation system, which are installed within the primary envelope of the reactor, are usually inaccessible for maintenance or replacement for long periods of time. Redundancy shall be used to provide adequate system availability. Detectors shall be spatially distributed such that adequate coverage is ensured for a specified acceptable number of failures.
- h) Some types of detector cable are mineral insulated, relatively thick and not fully flexible. These often need special junction boxes and connectors, located at points adjacent to the reactor primary envelope penetrations, but requiring personnel access for maintenance and detector replacement. The design of the reactor shielding and cavity may need special attention to ensure that these locations are suitable. The methods used for manufacturing, installing and testing such cables may also need special attention.

5 System design: general requirements

- a) The possible influence of instrumentation intended for in-core installation on the operating characteristics of the reactor shall be carefully evaluated. In particular, this evaluation shall consider maximum reactivity transients which may be caused by conceivable malfunctioning of the equipment, possible disturbance of the coolant flow in normal and abnormal conditions, any risk that the equipment will disturb the performance of safety actions and the risk of malfunctions which may cause damage to the primary envelope integrity.

- b) Il convient que l'analyse prenne en compte les procédures de remplacement des matériels placés dans le cœur du réacteur. Il est recommandé de retenir la procédure qui garantit la meilleure disponibilité de l'installation et qui ne dégrade pas les exigences spécifiques à la sûreté. Il est recommandé de prendre en considération l'approvisionnement des pièces de rechange et la possibilité de remplacer les détecteurs lorsque le réacteur fonctionne en puissance.
- c) Dans le cas des systèmes de cartographie du flux, pour lesquels les détecteurs sont insérés dans le cœur et retirés, il est recommandé que les fonctions de traitement du positionnement des détecteurs et de leurs signaux permettent de réaliser des cartes de flux en plan et en coupe pour que celles-ci puissent être corrélées ou permettent de compenser d'autres mesures de flux en-ligne. De telles fonctions doivent être classées conformément à la CEI 61226. La méthode de positionnement des détecteurs et de traitement des signaux fournis par le système de positionnement et les détecteurs de flux peuvent entraîner l'utilisation de matériel informatisé. Il convient que tous les matériels et logiciels du système informatisé en ligne soient conformes à la CEI 60987 et à la CEI 60880 ou à la CEI 62138 lorsqu'elles sont applicables. Il convient que les traitements différés des mesures satisfassent aux exigences qu'il convient.
- d) Lorsque l'instrumentation placée dans le cœur est utilisée pour réaliser des actions de protection du réacteur ou qu'elle est nécessaire pour assurer une exploitation sûre du réacteur, celle-ci doit être conçue en conjonction avec les systèmes contribuant à la protection du réacteur conformément aux exigences des Articles 5 et 6 de la CEI 61513:2001.
- e) Les parties du système placées dans le cœur du réacteur ne doivent contenir que des matériaux qui, en présence des conditions d'ambiance prévalant dans le cœur du réacteur, possèdent des propriétés connues et acceptables. En particulier, il convient de connaître, plutôt à partir d'essais sur des prototypes ou d'interprétation de données expérimentales, l'influence à long terme sur les caractéristiques appropriées des rayonnements neutronique et gamma, de la température et des cyclages thermiques.
- f) Il convient de prendre en compte, pour le choix des composants placés dans le cœur comme pour la conception des pénétrations de l'enveloppe primaire, les conséquences sur le réacteur des défaillances des matériels. Par exemple, il convient que les matériaux d'isolation des câbles placés dans le cœur ne réagissent pas de façon néfaste avec l'environnement en cas de rupture de la gaine du câble.
- g) Il est recommandé que la conception du système d'instrumentation facilite les tests fonctionnels des composants placés dans le cœur durant le fonctionnement du réacteur.
- h) Il est nécessaire, pour les systèmes d'instrumentation destinés à mesurer la distribution de puissance, de connaître, à partir de calculs théoriques, la relation liant la densité de puissance et le signal fourni par le détecteur de neutrons dans différentes zones du cœur, pour toutes les conditions normales d'exploitation du réacteur et pour tout le cycle combustible. La sélection du type de détecteur le plus approprié doit prendre en compte les différentes réponses spectrales neutroniques des détecteurs et les précisions avec lesquelles la distribution de puissance peut être mesurée.
- i) Il convient de connaître la sensibilité de chaque détecteur employé pour la mesure de la distribution de puissance relativement à une référence, durant toute sa durée de vie opérationnelle. Cela signifie qu'il convient que l'étalonnage soit possible en exploitation ou que l'étalonnage du détecteur soit largement indépendant de l'irradiation jusqu'à des fluences neutroniques très élevées ou que l'effet de la combustion sur la sensibilité du détecteur puisse être calculé. Il est recommandé que cette opération de calibrage soit faite avec précision (habituellement $\pm 3\%$ relativement à la sensibilité de référence) et à des intervalles de temps compatibles avec les exigences du système considéré dans son ensemble.
- j) Les systèmes de mesure neutronique utilisés pour la régulation de puissance ou pour la sûreté doivent avoir des temps de réponse suffisamment courts. Les temps de réponse d'un tel ensemble de mesure sont habituellement de l'ordre 0,2 s. Les ensembles de mesure utilisés uniquement pour l'ajustement manuel de la distribution de puissance peuvent avoir des temps de réponse plus longs.

- b) The analysis should take account of procedures for replacement of in-core equipment. The procedure which best ensures plant availability should be preferred and it shall not degrade the specific safety requirements. The provision of spare parts or the ability to change the detector with the reactor at power should be considered.
- c) For flux mapping systems in which detectors are moved through the core, and withdrawn, the functions for processing the detector signals and positions should permit the production of flux maps in plan and section for correlation with, and the compensation of, other on-line flux measurements. Such functions shall be classified in accordance with IEC 61226. The method of detector positioning, and of processing the signals from the positioning system and flux detectors may require the use of computer equipment. Any on-line computer equipment and software should be in accordance with IEC 60987, and with IEC 60880 or IEC 62138 as appropriate. Off-line computation should meet appropriate verification requirements.
- d) In cases where in-core instrumentation is used for reactor protection action or is otherwise necessary for safe operation of the reactor, it shall be designed in conjunction with other systems contributing to the reactor protection in accordance with IEC 61513:2001, Clauses 5 and 6.
- e) The in-core parts of the system shall contain only materials, which have known acceptable properties in the ambient conditions prevailing in the reactor core. In particular, the influence on pertinent characteristics of long-term neutron and gamma irradiations, long term temperature effects and temperature cycling should be known, preferably from prototype tests or from interpretation of experimentally obtained data.
- f) The consequences of equipment failure to the reactor should be taken into account in the choice of in-core components as well as the design of primary envelope penetrations. For example, the insulation materials of in-core cables should not react adversely with the surroundings if the cable sheath is broken.
- g) The instrumentation system should be designed to facilitate the functional testing of the in-core components during reactor operation.
- h) For instrumentation systems intended for power distribution measurements, it is necessary to know from theoretical calculations the relationship between the power density and the signal produced by the neutron detector in different parts of the core for all normal reactor conditions throughout the fuel cycle. The selection of a suitable detector type shall take into account the different neutron spectral responses of the various detector types and the accuracy with which the power distribution can be measured.
- i) The sensitivity of every neutron detector used in a power distribution measuring system should be known relative to a reference throughout its operational life. This means that recalibration should be possible during operation or that the detector calibration should be largely independent of the irradiation up to very high neutron fluence or that the burn-up effect on the detector sensitivity can be calculated. The above work should be done with an accuracy (typically about $\pm 3\%$ relative to the reference sensitivity) and at time intervals consistent with the system requirements as a whole.
- j) Neutron measuring systems used for gross power control or safety shall have adequately short response times. Response times for the measurement assembly of about 0,2 s are typical. Measuring assemblies used only for manual control of power distribution may have a slower response.

- k) Si l'erreur de mesure des paramètres évolue dans le temps ou en fonction des conditions d'exploitation, les points de consigne pour la conduite et la sûreté doivent évoluer en conséquence.
- l) Etant données les conditions prévalant dans le cœur du réacteur, l'évolution des erreurs de mesures peut être occasionnée par exemple par le taux de combustion, par le chauffage dû aux rayonnements ou par l'activation. Il convient de déterminer l'erreur liée au rayonnement du réacteur pour tous les types de détecteurs susceptibles d'être employés dans le système d'instrumentation.
- m) Dans le cas des détecteurs à mesure directe, le signal comprend des composantes de bruit de fond issues de différentes sources – par exemple les rayonnements gamma produits par le combustible du réacteur ou les rayonnements induits par la radioactivité des structures du cœur ou dans le détecteur lui-même. Une partie de ce bruit de fond n'est pas proportionnel au niveau de puissance du réacteur ou apparaît avec un retard considérable par rapport au débit de fluence neutronique. Il est recommandé de connaître la proportion relative du bruit de fond dans le signal du détecteur pour les différentes conditions de fonctionnement, si celle-ci est significative. Pour des ensembles de mesure utilisés à pleine puissance, on peut trouver en fin de vie des rapports signal/bruit de fond total de l'ordre de 5:1.
- n) La durée de vie utile d'un ensemble détecteur dans le cœur dépend des caractéristiques du détecteur comme de la conception de l'ensemble de mesure et du choix des composants électroniques associés. Elle doit être plus longue que la durée de l'intervalle séparant deux arrêts du réacteur pour maintenance.
- o) Il convient que le système soit conçu de façon que les fuites de rayonnements ou les rayons ne rendent pas la maintenance exagérément difficile.

6 Détecteurs de neutrons à mesure directe placés dans le cœur: exigences générales

- a) Différents types de détecteurs à mesure directe sont employés pour satisfaire aux différentes conditions de fonctionnement des réacteurs. Aux niveaux de puissance basse et intermédiaire, les détecteurs peuvent fonctionner en comptage d'impulsions ou en fluctuations pour améliorer la discrimination du bruit de fond gamma, alors que le fonctionnement en courant continu est généralement réservé aux niveaux élevés de puissance. Les types de détecteurs généralement utilisés sont les chambres d'ionisation à courant continu, les chambres d'ionisation à fission et les collectrons.
- b) La plupart des détecteurs de flux neutronique en ligne convertissent le flux neutronique en signal électrique (collectrons, chambres d'ionisation, détecteurs calorimètre). Il convient de décrire en détail le processus par lequel le flux neutronique génère le signal électrique. En plus du signal principal, les détecteurs à mesure directe placés dans le cœur produisent souvent des signaux de sortie additionnels liés aux rayonnements gamma, à la température et aux vibrations. Il convient d'estimer ces signaux additionnels ainsi que de décrire les facteurs déterminant leurs niveaux et permettant de globalement minimiser les perturbations du signal.
- c) Il convient que les dimensions des détecteurs placés dans le cœur soient telles qu'elles ne perturbent pas de façon significative la distribution du débit de fluence et les conditions d'écoulement du fluide réfrigérant dans le cœur.
- d) La création de produits d'activation à longue durée de vie (gamma ou bêta) dans un détecteur placé dans le cœur produit un bruit de fond au niveau du signal du détecteur et crée des problèmes liés à la protection contre les rayonnements lors des opérations de manutention. Ces effets doivent être pris en compte et minimisés autant que possible par le choix adapté de matériaux de structure ainsi que par la conception mécanique du détecteur. Il convient de prêter une attention similaire aux mécanismes, etc., qui seront manipulés lors de la maintenance. Les exigences relatives à la protection du personnel contre les rayonnements durant les opérations de manutention et de maintenance doivent être strictement respectées.

- k) If the derived parameter measuring error changes with time or as a result of operational conditions, the safety and control set points shall be changed accordingly.
- l) Under in-core measurement conditions, changes in measuring error can be caused by, for example, burnup, radiation heating, activation. The reactor radiation effect error should be determined for all types of in-core detectors which are proposed for use in the instrumentation scheme.
- m) For on-line detectors, the signal usually contains background components originating from different sources – for example, gamma radiation from the reactor fuel or radiation from induced radioactivity in the core structure or in the detector itself. Part of this background signal is not proportional to reactor power or is considerably delayed with regard to the neutron fluence rate. It is recommended that the relative background content in the detector signal, if significant, should be known for different reactor operating conditions. End-of-life ratios of signal-to-total background in the order of 5:1 may apply to measuring assemblies used at full power.
- n) The useful life of an in-core detector assembly, being a function of detector characteristics as well as of assembly design and choice of associated electronic components, shall be in excess of the period between scheduled reactor maintenance shutdowns.
- o) The system should be designed such that radiation leakage or beams do not make maintenance unduly difficult.

6 On-line in-core neutron detectors: general requirements

- a) Different types of on-line detectors are used to meet different reactor operating requirements. At low and intermediate powers, the detector may be operated in the pulse counting or variance mode in order to improve gamma background discrimination whereas d.c. mode operation is usually used in the high power range. Detector types usually used are d.c. ionization chambers, fission ion chambers and self-powered detectors.
- b) Most on-line neutron flux detectors convert the neutron flux into an electric signal (SPND, ionization chambers, calorimeter detectors). The process by which neutron flux creates an electric signal should be described in detail. Besides the true signal, in-core detectors often generate additional outputs caused by gamma radiation, temperature, vibration. These additional signals should be estimated and the factors determining this value and minimization of general signal disturbances should be described.
- c) In-core detectors should be of such dimensions that the fluence rate distribution and the coolant flow conditions in the core are not significantly disturbed.
- d) The creation of long-lived gamma and/or beta activity in an in-core detector through neutron activation will usually develop background effects in the detector signal as well as radiation protection problems during handling procedures. These effects shall be carefully considered and minimized as far as possible through proper choice of structural materials as well as the mechanical design of the detector. Similar consideration should be given to mechanisms, etc., which will be handled during maintenance. The protection of the staff against irradiation during handling and maintenance shall be observed strictly.

- e) Les détecteurs placés dans le cœur du réacteur à faible puissance peuvent être installés de façon à pouvoir être retirés du cœur lorsque celui-ci fonctionne à pleine puissance. Ainsi, les effets décrits en d) sont réduits et on obtient une durée de vie suffisante pour les détecteurs. Le positionnement correct d'un détecteur doit être assuré par ses mécanismes de rétraction et des indicateurs doivent être disponibles pour confirmer la position aux opérateurs.
- f) Pour réaliser des mesures de distribution du débit de fluence neutronique à des niveaux élevés de puissance, on peut employer un ou plusieurs détecteurs mobiles. Chaque détecteur peut être introduit dans le cœur pour mesurer la distribution de puissance à des intervalles de temps appropriés. Le détecteur n'étant exposé à un rayonnement neutronique intense que pour de courtes périodes, le changement de sensibilité dû à la combustion de la matière sensible peut être maintenu à un très faible niveau. Cette méthode est aussi utilisée pour l'étalonnage des détecteurs installés de façon permanente dans le cœur durant le fonctionnement du réacteur. Comme un mauvais fonctionnement du mécanisme de rétraction d'un détecteur mobile peut être la cause d'erreurs importantes suite à un positionnement incorrect, l'importance de telles erreurs doit être évaluée et prise en compte dans l'estimation du risque d'erreur de l'ensemble du système.
- g) Il est recommandé que les câbles et les connecteurs faisant partie des détecteurs placés dans le cœur satisfassent aux exigences des paragraphes c) et d) et il convient que leur comportement quand ils sont soumis aux conditions du cœur en exploitation soit spécifié par le fabricant des détecteurs.
- h) Il est recommandé que la sensibilité des détecteurs soit spécifiée et prenne en compte les caractéristiques spectrales des flux neutroniques (densité neutronique) dans lesquels ils doivent être utilisés. Il est possible d'utiliser avec une précision raisonnable la sensibilité mesurée dans un spectre thermique (caractérisé par la vitesse neutronique $V = 2\,200$ m/s).
- i) Considérant les objectifs de conception de l'instrumentation placée dans le cœur, il peut être intéressant d'utiliser le taux de réaction par noyau de matière sensible. Pour l'étalonnage, cette valeur est calculée comme suit: (le taux de réaction par indicateur de noyau d'activation à la surface du détecteur) $\times$ (la relation calculée entre les taux de réactions par noyau de matière sensible et l'indicateur de sensibilité aux conditions d'étalonnage).

7 Caractéristiques mécaniques

L'intégrité mécanique des détecteurs doit être adaptée à l'environnement dans lequel le détecteur est situé et elle doit être justifiée par le fabricant. En particulier, l'aptitude du détecteur et des composants associés à résister à l'environnement à l'intérieur du cœur (en prenant en compte l'érosion, la corrosion, les effets du vieillissement, etc.) pour la durée de vie requise doit faire l'objet d'une attention toute particulière, et les justifications doivent être formellement documentées.

Les caractéristiques mécaniques suivantes des détecteurs neutroniques destinés aux mesure en cœur ainsi que celles de leurs composants internes doivent être précisées par le constructeur dans un document à l'aide des unités appropriées:

- a) Schéma d'ensemble coté avec les tolérances, indiquant les dimensions du détecteur, la longueur utile et la position du volume utile.
- b) Câble du détecteur placé dans le cœur: dimensions externes, épaisseur de gaine et section du conducteur ainsi que l'aptitude à la flexion (nombre maximal de flexions et rayon de courbure minimal, etc.) selon les applications envisagées.
- c) Matériaux principaux constituant la structure du détecteur, câbles et terminaisons des câbles y compris les matériaux des soudures et des brasures.
- d) Principaux éléments d'impureté contenus dans les matériaux conformément au point c) et en particulier les éléments qui peuvent parasiter les signaux du détecteur, la radioactivité résiduelle dans le corps du détecteur ou l'absorption des neutrons thermiques.

- e) In-core detectors intended for use at low reactor power may be installed in such a way that they can be withdrawn from the core during high power operation. By this means, the effects described in item d) are minimized and an adequately useful detector life obtained. Care shall be taken to ensure proper placement of the detector by its retraction mechanism and indicators shall be provided which confirm this position to the plant operator.
- f) For detailed neutron fluence rate distribution measurements at high power levels, one or more movable in-core detector probes may be used. Each probe may be moved inside the core to obtain power density distribution within suitable time intervals. Since the detector is exposed to intense neutron irradiation for only short periods, the sensitivity change due to burn-up of sensitive material can be kept very low. This technique is also used for recalibration of permanently installed in-core detectors during reactor operation. Since maloperation of the retraction mechanism for movable detectors could introduce large errors by incorrect positioning, the possible magnitude of such errors shall be assessed and incorporated into the estimated errors of the system as a whole.
- g) Cables and connectors, in so far as they are integral parts of the in-core detector, should meet the requirements stated in items c) and d) and their performance in in-core operating conditions should be specified by the detector manufacturer.
- h) The specified sensitivity of the detector should take into account the spectral characteristics of the neutron fluence rate (neutron flux) in which it is to be used. It is possible to express sensitivity reasonably accurately as a response to the effective thermal spectrum (characterized by a neutron velocity of $V = 2\,200$ m/s).
- i) For in-core instrumentation design purposes, it may be convenient to use neutron reaction rate per nucleus of sensitive material. For calibration, this value is determined from (neutron reaction rate per nucleus of activation indicator at detector's surface) $\times$ (calculated relationship between neutron reaction rates per nucleus of sensitive material and indicator for sensitivity calibration condition).

7 Mechanical characteristics

The mechanical integrity of the detector shall be adequate for the environment in which the detector is located and shall be justified by the manufacturer. In particular, the ability of the detector and its associated components to withstand an in-core environment (taking into account erosion, corrosion, aging effects etc) for the required lifetime shall be given special attention and the justification shall be formally documented.

The following mechanical characteristics of in-core neutron detectors and their integral components shall be specified in writing by the manufacturer with appropriate units:

- a) An outline diagram, with tolerances, giving detector dimensions, the sensitive length and the position of the sensitive volume.
- b) In-core detector cable: outside dimensions, sheath thickness and conductor thickness together with bending data (numbers of bends and radii, etc.) relevant to the proposed applications.
- c) Main materials in the detector structure, cable and cable terminations including soldering or brazing materials.
- d) Major impurity elements in the materials according to item c) in particular elements which may cause excessive parasitic detector signals, post-irradiation activity in the detector body or thermal neutron absorption.