

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
60568**

Première édition
First edition
1977-01

**Appareillage de mesure du débit
de fluence neutronique dans le cœur
des réacteurs de puissance**

**In-core instrumentation for neutron fluence rate
(flux) measurements in power reactors**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60568: 1977

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications 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.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. 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.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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 to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60568

Première édition
First edition
1977-01

**Appareillage de mesure du débit
de fluence neutronique dans le cœur
des réacteurs de puissance**

**In-core instrumentation for neutron fluence rate
(flux) measurements in power reactors**

© IEC 1977 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

L

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application et objet	6
2. Définitions	6
3. Considérations générales	8
4. Conception du système: prescriptions générales	10
5. Détecteurs de neutrons dans le cœur du réacteur (détecteurs à mesure directe): prescriptions générales	14
6. Caractéristiques mécaniques	16
7. Caractéristiques électriques et nucléaires	16
8. Domaine de fonctionnement	18
9. Essais sur prototype	20
10. Essais industriels	20
11. Vérification du système avant mise en fonctionnement	22

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope and object	7
2. Definitions	7
3. General considerations	9
4. System design: general requirements	11
5. In-core (on-line) neutron detectors: general requirements	15
6. Mechanical characteristics	17
7. Electrical and nuclear characteristics	17
8. Range of operating conditions	19
9. Prototype testing	21
10. Production testing	21
11. Testing of system before operation	23

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**APPAREILLAGE DE MESURE DU DÉBIT DE FLUENCE NEUTRONIQUE
DANS LE CŒUR DES RÉACTEURS DE PUISSANCE**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 45A: Instrumentation des réacteurs, du Comité d'Etudes N° 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Des projets furent discutés lors des réunions tenues à Washington en 1970, à Bucarest en 1971, à Londres en 1972 et à La Haye en 1973. A la suite de cette dernière réunion, un projet, document 45A(Bureau Central)32, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en avril 1975.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Pays-Bas
Allemagne	Pologne
Belgique	Roumanie
Canada	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Finlande	Turquie
France	Union des Républiques
Italie	Socialistes Soviétiques
Japon	Yugoslavie

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

- Publications n°s 231: Principes généraux de l'instrumentation des réacteurs nucléaires.
- 231A: Premier complément à la Publication 231 (1967).
- 231B: Deuxième complément: Principes de l'instrumentation des réacteurs de puissance à eau ordinaire bouillante et à cycle direct.
- 515: Détecteurs de rayonnement pour l'instrumentation et la protection des réacteurs nucléaires; caractéristiques et méthodes d'essais.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**IN-CORE INSTRUMENTATION FOR NEUTRON FLUENCE RATE (FLUX)
MEASUREMENTS IN POWER REACTORS**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 45A, Reactor Instrumentation, of IEC Technical Committee No. 45, Nuclear Instrumentation.

Drafts were discussed at the meetings held in Washington in 1970, in Bucharest in 1971, in London in 1972 and in The Hague in 1973. As a result of this latter meeting, a draft, Document 45A(Central Office)32, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in April 1975.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Belgium	Romania
Canada	South Africa (Republic of)
Denmark	Sweden
Finland	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet
Italy	Socialist Republics
Japan	United Kingdom
Netherlands	United States of America
Poland	Yugoslavia

Other IEC publications quoted in this standard:

Publications Nos. 231: General Principles of Nuclear Reactor Instrumentation.

231A: First supplement to Publication 231 (1967).

231B: Second supplement: Principles of Instrumentation of Direct Cycle Boiling Water Power Reactors.

515: Radiation Detectors for the Instrumentation and Protection of Nuclear Reactors; Characteristics and Test Methods.

APPAREILLAGE DE MESURE DU DÉBIT DE FLUENCE NEUTRONIQUE DANS LE CŒUR DES RÉACTEURS DE PUISSANCE

1. Domaine d'application et objet

La présente norme est applicable aux détecteurs de neutrons dans le cœur des réacteurs (détecteurs à mesure directe) et à l'appareillage de mesure destiné à la sécurité, l'information ou le contrôle. Elle s'applique également aux composants pour autant qu'ils sont destinés à être placés dans les enveloppes primaires. Les types de détecteurs généralement utilisés sont les chambres d'ionisation à courant continu, les chambres d'ionisation à fission et les collecteurs.

Cette norme est destinée à constituer un code de bonne pratique pour la conception de l'appareillage de mesure du débit de fluence neutronique dans le cœur des réacteurs thermiques conçus pour la production d'énergie.

Dans ce guide, on insiste plus particulièrement sur l'aspect général de la conception de l'appareillage qui permet une mesure en ligne.

Note. — Pour les principes de la conception générale de l'appareillage et les buts des mesures de fluence neutronique, se reporter à la Publication 231 de la CEI: Principes généraux de l'instrumentation des réacteurs nucléaires, article 2.

2. Définitions

Pour les besoins de cette norme, les définitions suivantes sont applicables:

2.1 Sensibilité (du détecteur)

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

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

Dans la plupart des applications, le détecteur a une réponse linéaire et il donne un signal de sortie négligeable pour une grandeur d'entrée nulle.

D'où:

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

2.2 Matière sensible (d'un détecteur de neutrons)

Matière utilisée à l'intérieur de certains détecteurs de neutrons, sous forme par exemple de dépôt ou de gaz, en vue de donner naissance par réaction nucléaire avec les neutrons à des particules directement ionisantes (V.E.I. 391-06-03).

2.3 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 (V.E.I. 391-10-11).

IN-CORE INSTRUMENTATION FOR NEUTRON FLUENCE RATE (FLUX) MEASUREMENTS IN POWER REACTORS

1. Scope and object

This standard applies to in-core (on-line) neutron detectors and instrumentation which is designed for safety, information or control purposes. It also applies to components in so far as these components are contained within the primary envelope of the reactor. The detector types usually used are d.c. ionization chambers, fission ion chambers and self-powered neutron detectors.

This standard is intended as a code of practice 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 guide is on the general design aspect of on-line systems.

Note. — For the principles of overall system design and purpose of neutron flux measurements, reference should be made to IEC Publication 231, General Principles of Nuclear Reactor Instrumentation, Clause 2.

2. Definitions

For the purposes of this standard, the following definitions are applicable:

2.1 Sensitivity (of a detector)

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

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

In most applications, the detector is linear and has a negligible output signal for zero input.

Hence:

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

2.2 Sensitive material (of a neutron detector)

The 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 (I.E.V. 391-06-03).

2.3 Burn-up life (of a neutron detector)

An 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 (I.E.V. 391-10-11).

2.4 *Vie utile (d'un détecteur de neutrons)*

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. La vie utile peut s'exprimer en fluence reçue, en nombre d'impulsions fournies, etc. (V.E.I. 391-10-10).

2.5 *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 d'une enveloppe primaire.

2.6 *Enveloppe primaire*

Enveloppe de sécurité de haute résistance contenant le combustible et le fluide de refroidissement primaire (Publication 231B de la CEI).

2.7 *Densité de puissance*

Puissance thermique engendrée par unité de volume du cœur d'un réacteur.

2.8 *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 au rayonnement, les mesures de radioactivité induite par les neutrons sont effectuées ailleurs à l'aide de moyens appropriés.

2.9 *Détecteur de neutrons à mesure directe*

Détecteur qui produit un signal électrique représentatif du débit de fluence neutronique alors qu'il est dans sa position de mesure.

2.10 *Débit perturbé de fluence neutronique*

Débit moyen de fluence neutronique 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); elle est pratiquement égale au débit moyen de fluence neutronique qui traverse la surface du détecteur.

2.11 *Débit non perturbé de fluence neutronique*

Débit moyen de fluence neutronique dans la zone prévue pour le détecteur, celui-ci n'étant pas en place.

3. *Considérations générales*

- 3.1 Dans le cas des réacteurs de puissance dont le cœur présente des dimensions physiques importantes, il peut être avantageux, pour des raisons de fonctionnement, de surveiller non seulement la valeur moyenne du débit de fluence neutronique du cœur entier du réacteur, mais aussi sa distribution

2.4 *Useful life (of a neutron detector)*

Operational life, under irradiation and environmental conditions restricted within specified limits, after which the detector characteristics exceed the specified tolerances. Useful life can be expressed in incident particle fluence, number of produced pulses, etc. (I.E.V. 391-10-10).

2.5 *In-core neutron detector*

A 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 envelope.

2.6 *Primary envelope*

An enclosure of high integrity containing the fuel and the primary coolant (IEC Publication 231B).

2.7 *Power density*

Thermal power developed per unit volume in the core of a reactor.

2.8 *Off-line neutron detector*

A 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 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.

2.9 *On-line neutron detector*

A detector which produces an electrical signal representative of the neutron fluence rate while it is in the measuring position.

2.10 *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.

2.11 *Unperturbed neutron fluence rate (flux)*

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

3. General considerations

- 3.1 In a power reactor with a core which has large physical dimensions 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

dans l'espace. Les mesures locales (en une position particulière) dans le cœur sont souvent combinées avec des fonctions locales de commande dont le but est d'assurer des marges suffisantes pour les facteurs de sécurité caractéristiques du système ou de veiller à l'utilisation optimale du combustible. Suivant le type de réacteur, cela sera réalisé d'une façon relative ou absolue.

- 3.2 Il est quelquefois nécessaire de procéder à des mesures locales du débit de fluence neutronique dans le cœur du réacteur pour des raisons de sécurité, par exemple pour la protection du combustible contre les dommages provoqués par des perturbations locales du débit du fluide de refroidissement ou par des élévations transitoires locales de la densité de puissance. On peut, dans certains cas, ne pas se rendre compte avec suffisamment de précision de conditions aussi anormales lorsqu'on pratique des mesures à l'extérieur du cœur. Dans ce cas, les ensembles de mesure dans le cœur sont habituellement raccordés au système de protection du réacteur.
- 3.3 L'appareillage de mesure du débit de fluence neutronique dans le cœur du réacteur peut être également utilisé pour procurer des renseignements de caractère plus général sur le réacteur ou sur le comportement de ses composants. Des renseignements obtenus à partir des mesures du débit de fluence neutronique peuvent porter sur des vibrations de composants du cœur, des phénomènes d'ébullition d'un fluide de refroidissement liquide, la fluence neutronique totale sur des éléments combustibles individuels, etc.
- 3.4 Pour certains réacteurs, l'appareillage de mesure du débit de fluence neutronique situé à l'extérieur de l'enveloppe primaire est inexploitable pour les opérations de démarrage et de fonctionnement en régime intermédiaire. Des mesures et contrôles des conditions de puissance globale et locale peuvent être fournis par les détecteurs de neutrons placés dans le cœur, sur tout ou partie de l'étendue de mesure prescrite.
- 3.5 On peut avoir besoin d'un appareillage spécial dans le cœur pour faciliter l'étalonnage périodique de l'appareillage de mesure du débit de fluence neutronique décrit aux paragraphes 3.1 à 3.4 ci-dessus. A cette fin, on peut utiliser des détecteurs de neutrons à mesure différée ou à mesure directe.
- 3.6 Certaines parties du système d'appareillage de mesure dans le cœur peuvent être placées dans des conditions d'environnement très sévères; l'exposition à des rayonnements gamma et neutroniques intenses est susceptible de causer des transformations et des modifications de la structure des matériaux employés et d'affecter les propriétés électriques et mécaniques des appareils. Un grand soin doit donc présider au choix de matériaux appropriés. De plus, dans la plupart des cas, des précautions doivent être prises dès la conception en ce qui concerne les effets des hautes pressions, des cycles de pression, des hautes températures, des gradients de température et des cycles de température.
- 3.7 Les parties du système d'appareillage de mesure qui sont installées à l'intérieur de l'enveloppe primaire du réacteur ne sont généralement pas accessibles; il faut prévoir leur entretien et leur remplacement pendant de longues périodes. Il est donc souvent nécessaire d'assurer la disponibilité appropriée au système par redondance. Les détecteurs peuvent être répartis dans l'espace de façon à assurer une couverture suffisante pour un nombre spécifié et acceptable de défaillances.

4. Conception du système: prescriptions générales

- 4.1 L'influence possible de l'appareillage de mesure destiné à être installé dans le cœur du réacteur sur les caractéristiques de fonctionnement de ce dernier doit être soigneusement estimée. En particulier, cette évaluation doit tenir compte des transitoires de réactivité maximale qui peuvent être produits

in the core are often combined with local control functions, the purpose of which is 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.

- 3.2 Measurements of local in-core neutron fluence rate (flux) 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.
- 3.3 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.
- 3.4 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.
- 3.5 Special in-core instrumentation may be needed to facilitate periodic recalibration of the neutron fluence rate (flux) instrumentation described in Sub-clauses 3.1 to 3.4 above. Both isotopic activation techniques and movable in-core detectors may be used for this purpose.
- 3.6 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 and temperature cycling.
- 3.7 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. It is therefore often necessary to provide for adequate system availability by means of redundancy. Detectors may be spatially distributed such that adequate coverage is ensured for a specified acceptable number of failures.

4. System design: general requirements

- 4.1 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 equip-

par un mauvais fonctionnement prévisible du matériel, par des perturbations éventuelles du débit du fluide de refroidissement dans des conditions normales et anormales, des possibilités de perturbations des dispositifs de sécurité dues au matériel, et des risques de défauts qui peuvent porter atteinte à l'intégrité de l'enveloppe primaire.

Cette analyse doit aussi tenir compte des procédures de remplacement des matériels placés dans le cœur. On préférera les procédures qui assurent la meilleure disponibilité de la centrale et qui ne dégradent pas les prescriptions spécifiques de sécurité. On examinera la disponibilité des pièces détachées, ou la possibilité de changer le détecteur, le réacteur étant en puissance.

- 4.2 Dans les cas où l'appareillage, placé dans le cœur, sert à des actions de sécurité du réacteur, ou est nécessaire d'une autre façon au fonctionnement sûr du réacteur, cet appareillage doit être conçu conformément aux prescriptions du système de protection des Publications 231 et 231A de la CEI.
- 4.3 Les parties placées dans le cœur du système doivent comporter, autant que possible, uniquement des matériaux dont les propriétés ont été jugées acceptables dans les conditions ambiantes qui prévalent dans le cœur d'un réacteur. En particulier, l'influence prolongée sur les caractéristiques appropriées de l'irradiation neutronique et gamma ainsi que des cycles de température doit être connue, de préférence à partir des essais de prototype ou de l'interprétation de données expérimentales.
- 4.4 On tiendra compte, dans le choix des composants destinés à être placés dans le cœur comme dans la conception des passages à travers l'enveloppe primaire, des conséquences des défaillances du matériel sur le réacteur. Par exemple, les matériaux d'isolation des câbles situés dans le cœur ne doivent pas avoir de réaction néfaste avec l'environnement en cas de rupture de gaine de câble.
- 4.5 Le système d'appareillage de mesure doit être conçu de façon à faciliter les essais de bon fonctionnement, si besoin est, des composants placés dans le cœur pendant la marche du réacteur.
- 4.6 Pour les systèmes d'appareillage de mesure destinés à des mesures de distribution de puissance, il est nécessaire de connaître, à partir de calculs théoriques, les relations qui existent entre la densité de puissance et le signal fourni par le détecteur de neutrons dans différentes parties du cœur pour toutes les conditions ordinaires de fonctionnement du réacteur tout au long du cycle du combustible. Comme des détecteurs de types différents peuvent présenter des réponses spectrales neutroniques différentes, ces relations influenceront le choix d'un type de détecteur approprié et la précision avec laquelle la distribution de puissance peut être mesurée.
- 4.7 Chaque détecteur de neutrons employé dans un système de mesure de la distribution de puissance doit avoir une sensibilité connue par rapport à celle d'un détecteur de référence pendant toute sa période d'utilisation. Cela signifie que le réétalonnage doit être possible en fonctionnement ou que l'étalonnage du détecteur doit être 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. Cette opération de calibrage doit être faite avec une précision suffisante (habituellement $\pm 3\%$ par rapport à la sensibilité de référence) et à des intervalles de temps compatibles avec les prescriptions du système considéré comme un tout.
- 4.8 Les systèmes de mesure neutronique utilisés pour la régulation de puissance et la sécurité doivent avoir des temps de réponse suffisamment courts. Les temps de réponse d'environ un cinquième de seconde sont courants. Les ensembles de mesure employés uniquement pour la commande manuelle de la distribution de densité de puissance peuvent avoir un temps de réponse plus long.

ment, 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.

The analysis should take account of procedures for replacement of in-core equipments. 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.

- 4.2 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 accordance with the protection system requirements given in IEC Publications 231 and 231A.
- 4.3 The in-core parts of the system should contain, as far as possible, 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 and temperature cycling should be known, preferably from prototype tests or from interpretation of experimentally obtained data.
- 4.4 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.
- 4.5 The instrumentation system should be designed to facilitate the functional testing, if required, of the in-core components during reactor operation.
- 4.6 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. Since different detector types may have different neutron spectral responses, this relationship will influence the choice of a suitable detector type and the accuracy with which the power distribution can be measured.
- 4.7 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.
- 4.8 Neutron measuring systems used for gross power control or safety shall have adequately short response times. Response times for the measurement assembly of about one-fifth of a second are typical. Measuring assemblies used only for manual control of power distribution may have a slower response.

- 4.9 Dans le cas des détecteurs à mesure directe, le signal contient habituellement des composantes de bruit de fond provenant de diverses sources, par exemple du rayonnement gamma du combustible de réacteur, des rayonnements de radioactivité induite dans la structure du cœur ou dans le détecteur lui-même. Une partie de ce bruit de fond n'est pas proportionnelle au niveau de puissance du réacteur ou se produit avec un retard considérable par rapport au débit de fluence neutronique. Il convient de connaître, pour différentes conditions de fonctionnement du réacteur, la proportion relative du bruit de fond dans le signal fourni par le détecteur, au cas où cet effet ne serait pas négligeable. Pour des ensembles de mesure utilisés à pleine puissance, on peut trouver en fin de vie des rapports du signal au bruit de fond total de l'ordre de 5/1.
- 4.10 La vie utile d'un ensemble détecteur dans le cœur doit être supérieure à la période qui sépare deux arrêts du réacteur suivant le programme d'entretien. Cette vie utile dépend des caractéristiques du détecteur ainsi que de la conception de l'ensemble et du choix des composants électroniques associés.
- 4.11 Le système doit être conçu de façon que les fuites de rayonnements ne rendent pas la maintenance exagérément difficile.

5. Détecteurs de neutrons dans le cœur du réacteur (détecteurs à mesure directe): prescriptions générales

- 5.1 Plusieurs types de détecteurs à mesure directe sont utilisés pour répondre à diverses conditions de fonctionnement du réacteur. Pour les gammes de puissance basses et intermédiaires, le détecteur peut fonctionner en comptage d'impulsions ou en variance, de façon à améliorer la discrimination du bruit de fond gamma, tandis que le fonctionnement en courant continu est habituellement employé dans la gamme des puissances élevées. Les modèles de détecteurs habituellement utilisés sont les chambres d'ionisation à courant continu, les chambres d'ionisation à fission et les collectrons (détecteurs autogénérateurs de courant).
- 5.2 Les détecteurs placés dans le cœur doivent être dimensionnés de telle sorte que la distribution du débit de fluence et les conditions de débit du fluide de refroidissement dans le cœur ne soient pas sensiblement perturbées.
- 5.3 La création d'activité gamma et/ou bêta à longue période résultant de l'activation neutronique dans un détecteur placé dans le cœur entraînera habituellement des effets de mouvement propre sur le signal issu du détecteur ainsi que des problèmes de protection contre le rayonnement au cours des opérations de manutention. Ces effets doivent être soigneusement étudiés et minimisés autant qu'il est possible par un choix approprié des matériaux constitutifs ainsi que par la conception mécanique du détecteur. Une étude analogue doit être faite pour les mécanismes, etc. qui seront manipulés pendant la maintenance.
- 5.4 L'absorption des rayonnements par le détecteur à des hauts niveaux de puissance peut donner lieu à une production importante de chaleur. Cet effet doit être examiné non seulement lors de l'étude du détecteur, mais aussi lors de son installation. Si on s'attend à une température du détecteur notablement plus élevée que la température ambiante, on doit en tenir compte.
- 5.5 Les détecteurs placés dans le cœur du réacteur, et destinés à être employés à faible puissance, peuvent être installés de manière à pouvoir être retirés du cœur au cours de la marche à haute puissance. On diminue de ce fait les effets décrits aux paragraphes 5.3 et 5.4 et on obtient ainsi une vie utile suffisante pour les détecteurs.

- 4.9 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.
- 4.10 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, should be in excess of the period between scheduled reactor maintenance shut-downs.
- 4.11 The system should be designed such that radiation leakage or beams do not make maintenance unduly difficult.

5. In-core (on-line) neutron detectors: general requirements

- 5.1 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.
- 5.2 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.
- 5.3 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 should 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.
- 5.4 The absorption of radiation by the detector when it is operated at high power levels may lead to substantial production of heat. This effect shall be considered in the detector design as well as in its installation. If this effect is expected to result in a detector temperature appreciably above the ambient temperature, this should be taken into account.
- 5.5 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 Sub-clauses 5.3 and 5.4 are minimized and an adequately useful detector life obtained.

- 5.6 Pour les mesures de la distribution détaillée du débit de fluence neutronique dans le cas de niveaux de puissance élevée, une ou plusieurs sondes détectrices amovibles et placées dans le cœur du réacteur peuvent être utilisées. Chaque sonde peut être déplacée à l'intérieur du cœur, à des intervalles de temps appropriés, pour obtenir la distribution des densités de puissance. Comme le détecteur n'est exposé à une irradiation neutronique intense que pendant de courtes périodes, la variation de sensibilité due à la combustion de la matière sensible peut être maintenue à un très faible niveau. On emploie aussi cette technique pour le réétalonnage des détecteurs installés de manière permanente dans le cœur des réacteurs pendant le fonctionnement de ces derniers.
- 5.7 Les câbles et les connecteurs, dans la mesure où ils font partie intégrante du détecteur, doivent satisfaire aux prescriptions des paragraphes 5.2, 5.3 et 5.4. Leur comportement, quand ils sont soumis aux conditions de fonctionnement dans le cœur, doit être précisé par le constructeur du détecteur.

6. Caractéristiques mécaniques

Les caractéristiques mécaniques suivantes des détecteurs de neutrons (et de tous leurs composants) placés dans le cœur des réacteurs doivent être spécifiées par le constructeur sous forme écrite avec les unités appropriées:

- 1) Un schéma d'ensemble coté avec les tolérances, indiquant les dimensions du détecteur, la longueur utile et la position du volume utile.
- 2) Câble du détecteur placé dans le cœur: dimensions extérieures, 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.
- 3) Matériaux principaux constituant la structure du détecteur, câble et raccordement, y compris les matériaux des soudures et brasures.
- 4) Principaux éléments d'impureté dans les matériaux suivant le point 3), en particulier les éléments qui peuvent produire des signaux parasites excessifs dans le détecteur, une radioactivité résiduelle dans le corps du détecteur ou l'absorption des neutrons thermiques.
- 5) Matière sensible du détecteur en ce qui concerne sa composition chimique nominale et sa quantité totale.
- 6) Pression et nature du gaz de remplissage, s'il y a lieu.
- 7) Tenue aux chocs et vibrations.

7. Caractéristiques électriques et nucléaires

S'il y a lieu, le constructeur doit spécifier par écrit les caractéristiques électriques et nucléaires suivantes, avec les unités appropriées:

- 1) Mode (ou modes) de fonctionnement.
- 2) Tension de polarisation, plage recommandée de fonctionnement et valeur maximale admissible.
- 3) Caractéristiques de la courbe de discrimination.
- 4) Caractéristiques de saturation.
- 5) Valeur moyenne de la charge électrique fournie à la sortie par neutron capturé.
- 6) Temps de collection des charges.

- 5.6 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.
- 5.7 Cables and connectors, in so far as they are integral parts of the in-core detector, should meet the requirements stated in Sub-clauses 5.2, 5.3 and 5.4 and their performance in in-core operating conditions should be specified by the detector manufacturer.

6. Mechanical characteristics

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

- 1) An outline diagram, with tolerances, giving detector dimensions, the sensitive length and the position of the sensitive volume
- 2) 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.
- 3) Main materials in the detector structure, cable and cable termination including soldering or brazing materials.
- 4) Major impurity elements in the materials according to item 3) in particular elements which may cause excessive parasitic detector signals, post-irradiation activity in the detector body or thermal neutron absorption.
- 5) Sensitive material of the detector with regard to nominal chemical composition and total quantity.
- 6) Pressure and main constituents of filling gas, if any.
- 7) Resistance to shock and vibration.

7. Electrical and nuclear characteristics

The following electrical and nuclear characteristics, where applicable, shall be specified in writing by the manufacturer with appropriate units:

- 1) Mode (or modes) of operation.
- 2) Polarization voltage, recommended operating range and maximum permissible value.
- 3) Discriminator bias plateau characteristics.
- 4) Saturation characteristics.
- 5) Average value of electric charge delivered at the output per neutron captured.
- 6) Charge collection time.

- 7) Sensibilité du détecteur, pour le ou les modes de fonctionnement proposés, aux neutrons de répartition spectrale d'énergie donnée (en régime perturbé), à 25 °C et à la température maximale de fonctionnement. La forme exacte de cette répartition peut avoir de l'importance pour l'utilisateur et peut faire l'objet de consultations.
- 8) Sensibilité du détecteur au rayonnement gamma, ou influence du rayonnement gamma pour le ou les modes de fonctionnement proposés, dans des conditions spécifiées (par exemple pour le spectre gamma type dans le cœur, ou le spectre du Co 60).
- 9) Sensibilité (exprimée en signal électrique) au rayonnement neutronique et gamma par unité de longueur de câble du détecteur dans le cœur, dans les mêmes conditions que celles qui figurent aux points 7) et 8).
- 10) Plage sur l'étendue de laquelle le détecteur suit ses caractéristiques d'étalonnage à l'intérieur de limites spécifiées.
- 11) Caractéristiques de courant résiduel du détecteur et du câble, données séparément, après exposition neutronique sur une longue période.
- 12) Variation maximale de la sensibilité neutronique par unité de longueur du détecteur, le long de sa partie sensible (si elle n'est pas négligeable).
- 13) Fuites électriques des isolements du détecteur lui-même entre électrodes, entre électrodes et boîtier, et entre électrodes et blindage (le cas échéant) pour une ou plusieurs valeurs spécifiées de tension:
 - à 25 °C avec un champ de rayonnement nul,
 - à température maximale de fonctionnement et champ de rayonnement nul.
- 14) Courant de fuite de l'isolament du câble (au cas où il fait partie intégrante du détecteur) pour une ou plusieurs valeurs spécifiées de tension entre conducteurs individuels et, s'il y a lieu, entre le conducteur du signal et la gaine du câble (tous les autres conducteurs étant reliés à la gaine). Les spécifications doivent être données pour les mêmes conditions ambiantes qu'au point 13).
- 15) Capacité électrique par rapport au boîtier à la sortie de l'électrode de signal.

8. Domaine de fonctionnement

Les limites suivantes doivent être spécifiées, s'il y a lieu, par le constructeur sous forme écrite, avec les unités appropriées, pour le détecteur ainsi que pour le câble et le connecteur:

- 1) Température maximale ambiante en fonctionnement continu.
- 2) Température maximale admissible.
- 3) Valeurs limites pour les températures transitoires.
- 4) Débit maximal de fluence neutronique.
- 5) Débit de fluence gamma maximal, le cas échéant.
- 6) Fluence gamma maximale.
- 7) Fluence de combustion (du détecteur).
- 8) Pression maximale ambiante en fonctionnement.
- 9) Vie utile.