

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60231G

Première édition
First edition
1977-01

Septième complément à la Publication 60231 (1967)

**Principes généraux de l'instrumentation
des réacteurs nucléaires**
Réacteurs rapides refroidis par métal liquide

Seventh supplement to Publication 60231 (1967)

**General principles of nuclear reactor
instrumentation**
Liquid-metal cooled fast reactors



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60231G: 1977

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} 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**

60231G

Première édition
First edition
1977-01

Septième complément à la Publication 60231 (1967)

**Principes généraux de l'instrumentation
des réacteurs nucléaires**
Réacteurs rapides refroidis par métal liquide

Seventh supplement to Publication 60231 (1967)

**General principles of nuclear reactor
instrumentation**
Liquid-metal cooled fast 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. Introduction	6
1.1 Généralités	6
1.2 Domaine d'application	6
1.3 Caractéristiques générales	6
2. Mesures du débit de fluence des neutrons	8
2.1 Généralités	8
2.2 Détecteurs de neutrons	8
2.4 Instrumentation de mesure du débit de fluence des neutrons	8
2.7 Distribution du débit de fluence des neutrons	12
3. Mesures de température	12
3.5 Mesure de la température du fluide de refroidissement	14
3.9 Mesure de la température du caisson	14
4. Mesures relatives au fluide de refroidissement	14
4.2 Débit du fluide de refroidissement	14
4.5 Fuites du fluide de refroidissement	14
4.6 Pureté du fluide de refroidissement	16
4.7 Activité du fluide de refroidissement	16
4.9 Ebullition du fluide de refroidissement	16
4.10 Réseau du gaz de couverture	18
5. Systèmes de protection	18
5.4 Fonctions du système de protection	18
9. Conduite du réacteur	20
9.1 Caractéristique de régulation	20
9.3 Indication de la position et du mouvement des barres de commande	22

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Introduction	7
1.1 General	7
1.2 Scope	7
1.3 General requirements	7
2. Neutron fluence rate (flux) measurement	9
2.1 General	9
2.2 Neutron detectors	9
2.4 Instrumentation for neutron fluence rate (flux) measurement	9
2.7 Neutron fluence rate (flux) distribution	13
3. Temperature measurement	13
3.5 Measurement of coolant temperature	15
3.9 Measurement of vessel temperature	15
4. Coolant measurements	15
4.2 Coolant flow	15
4.5 Coolant leakage	15
4.6 Coolant purity	17
4.7 Coolant activity	17
4.9 Coolant boiling	17
4.10 Cover gas system	19
5. Protection systems	19
5.4 Functions within the protection system	19
9. Reactor control	21
9.1 Control characteristics	21
9.3 Indication of control rod position and movement	23

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

Septième complément à la Publication 231 (1967)
PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'INSTRUMENTATION DES RÉACTEURS
NUCLÉAIRES
Réacteurs rapides refroidis par métal liquide

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.

Elle constitue le septième complément à la Publication 231 de la CEI: Principes généraux de l'instrumentation des réacteurs nucléaires.

Elle résulte d'une étude entreprise en 1974 (décision prise à la réunion de La Haye). Des projets furent successivement discutés à Milan en 1974 et à San Diego en 1975. A la suite d'une décision du Comité d'Etudes N° 45 prise à cette dernière réunion, un projet, document 45A(Bureau Central)40, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en septembre 1976.

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

Afrique du Sud (République d')	Royaume-Uni
Allemagne	Suisse
Belgique	Tchécoslovaquie
Canada	Turquie
Egypte	Union des Républiques
France	Socialistes Soviétiques
Italie	Yougoslavie
Pays-Bas	

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.
- 231B: Deuxième complément: Principes de l'instrumentation des réacteurs de puissance à eau ordinaire bouillante et à cycle direct.
- 231C: Troisième complément: Instrumentation des réacteurs refroidis au gaz et modérés au graphite.
- 231D: Quatrième complément: Principes de l'instrumentation des réacteurs à eau sous pression.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

Seventh supplement to Publication 231 (1967)
GENERAL PRINCIPLES OF NUCLEAR REACTOR INSTRUMENTATION

Liquid-metal cooled fast 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.

It constitutes the seventh supplement to IEC Publication 231, General Principles of Nuclear Reactor Instrumentation.

It is the result of new work initiated in 1974 after a decision taken at the meeting held in The Hague. Drafts were successively discussed in Milan in 1974 and in San Diego in 1975. Following a decision of Technical Committee No. 45 taken at this last meeting, a draft, Document 45A(Central Office)40, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in September 1976.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Belgium	South Africa (Republic of)
Canada	Switzerland
Czechoslovakia	Turkey
Egypt	Union of Soviet
France	Socialist Republics
Germany	United Kingdom
Italy	Yugoslavia
Netherlands	

Other IEC publications quoted in this standard:

- Publications Nos. 231: General Principles of Nuclear Reactor Instrumentation.
- 231A: First supplement.
- 231B: Second supplement: Principles of Instrumentation of Direct Cycle Boiling Water Power Reactors.
- 231C: Third supplement: Instrumentation of Gas-Cooled Graphite-Moderated Reactors.
- 231D: Fourth supplement: Principles of Instrumentation for Pressurized Water Reactors.

Septième complément à la Publication 231 (1967)
PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'INSTRUMENTATION DES RÉACTEURS
NUCLÉAIRES

Réacteurs rapides refroidis par métal liquide

1. Introduction

1.1 Généralités

Le présent complément a pour but d'établir des prescriptions normales relatives aux principes généraux de l'instrumentation des réacteurs rapides refroidis par métal liquide. Ces prescriptions s'ajoutent à celles des Publications 231 de la CEI: Principes généraux de l'instrumentation des réacteurs nucléaires, et 231A: Premier complément, dans le cadre de leur domaine d'application.

La numérotation des articles de ce complément concorde avec les articles des Publications 231 et 231A de la CEI auxquels ils se rapportent.

Les articles d'application générale, qui devraient être inclus dans la Publication 231 de la CEI quand elle sera révisée, sont marqués d'un astérisque. Certains d'entre eux reprennent des prescriptions figurant déjà dans les Publications 231B de la CEI: Deuxième complément: Principes de l'instrumentation des réacteurs de puissance à eau ordinaire bouillante et à cycle direct; 231C: Troisième complément: Instrumentation des réacteurs refroidis au gaz et modérés au graphite, et 231D: Quatrième complément: Principes de l'instrumentation des réacteurs à eau sous pression.

1.2 Domaine d'application

Ce complément s'applique uniquement aux réacteurs rapides refroidis par métal liquide, dans lesquels le fluide primaire de refroidissement est le sodium ou un alliage sodium/potassium, et qui comportent un circuit secondaire de refroidissement qui emploie aussi ces métaux. La chaleur est transférée du fluide primaire aux éléments générateurs de vapeur par un circuit secondaire qui utilise des échangeurs thermiques habituellement disposés sous l'une des deux formes suivantes:

- a) échangeurs en boucle, dans lesquels les échangeurs sont raccordés par des tubulures à l'enceinte du réacteur, et
- b) échangeurs intégrés, dans lesquels les échangeurs sont incorporés dans la même enveloppe que le cœur du réacteur.

Un troisième système indirect à échangeur formé d'un élément unique à tube à ailettes multiples n'est pas inclus dans ce complément.

Le combustible est placé en gaine métallique scellée.

1.3 Prescriptions générales

- * 1.3.6 Des dispositions appropriées pour l'instrumentation doivent être prises afin de permettre de faire la preuve, avant et pendant la phase initiale de fonctionnement, que les objectifs fixés pour la sécurité de fonctionnement du réacteur et du système d'instrumentation sont atteints. Il peut être nécessaire, à cette fin, d'installer des équipements supplémentaires de manière temporaire ou permanente.

Seventh supplement to Publication 231 (1967)
GENERAL PRINCIPLES OF NUCLEAR REACTOR INSTRUMENTATION

Liquid-metal cooled fast reactors

1. Introduction

1.1 General

The purpose of this supplement is to lay down standard requirements pertaining to the general principles of instrumentation of liquid-metal cooled fast reactors, in addition to those given in IEC Publications 231, General Principles of Nuclear Reactor Instrumentation, and 231A, First supplement.

The numbering of clauses in this supplement is in line with the clauses of IEC Publications 231 and 231A to which they refer.

Clauses which are generally applicable and should be included in IEC Publication 231 when it is revised are marked with an asterisk. These include asterisked clauses from IEC Publications 231B, Second supplement: Principles of Instrumentation of Direct Cycle Boiling Water Power Reactors; 231C, Third supplement: Instrumentation of Gas-cooled Graphite-moderated Reactors, and 231D, Fourth supplement: Principles of Instrumentation for Pressurized Water Reactors.

1.2 Scope

This supplement applies only to liquid-metal cooled fast reactors in which the primary coolant is sodium or a sodium/potassium alloy, and including a secondary system also using these metals. Heat is transferred from the primary coolant to the steam generating units by a secondary circuit using heat exchangers which are usually arranged in two alternative configurations:

- a) loop design, where the exchangers are connected by pipes to the reactor enclosure, and
- b) pool design, where the exchangers are contained in the same vessel as the reactor core.

A third indirect system using a single unit multiple walled tube heat exchanger is not included in this supplement.

The fuel is clad in metallic sealed cladding.

1.3 General requirements

- * 1.3.6 Suitable instrumentation provisions shall be made to permit demonstration, prior to and during initial plant operation, that reactor and instrumentation system performance objectives for safe operation are met. It may be necessary to install, temporarily or permanently, additional equipment for this purpose.

- * 1.3.7 Monter les détecteurs essentiels pour la conduite ou la protection de façon à pouvoir les remplacer sans avoir à enlever le cœur du réacteur, ni le fluide de refroidissement, ni les parties du réacteur les plus importantes, et sans devoir interrompre le fonctionnement du réacteur en régime normal.

Si, pour procéder à une réparation ou à un remplacement, des détecteurs sont inaccessibles pendant ou immédiatement après le fonctionnement du réacteur en raison du rayonnement émis par le fluide primaire ou en raison des désamorçages d'éléments, prévoir le montage de détecteurs de rechange pouvant être raccordés en des endroits accessibles.

2. Mesures du débit de fluence des neutrons

2.1 Généralités

- * 2.1.3 Il convient de tenir compte de l'effet de l'activité du fluide de refroidissement sur la sortie du détecteur.
- * 2.1.5 Les réacteurs conçus pour fonctionner avec une proportion appréciable de combustible à taux de combustion élevé contiennent des quantités notables d'isotopes lourds qui produisent des neutrons par fission spontanée ou par d'autres réactions. Lors de la mesure de la marge de réactivité résiduelle à l'arrêt, il convient de tenir compte des variations du débit de fluence résiduel de neutrons, dues à l'accumulation de ces isotopes et aux opérations d'apport de combustible.

2.2 Détecteurs de neutrons

- * 2.2.2 Pour les petits réacteurs dans lesquels il existe une fuite de neutrons suffisante, une mesure globale de la puissance peut être effectuée en utilisant des détecteurs montés à l'extérieur de la cuve du réacteur. Cependant, il peut être nécessaire, du fait des grandes dimensions du cœur ou pour d'autres raisons, de placer plusieurs détecteurs dans le cœur pour obtenir une indication précise des puissances locales et de la puissance globale. De ce fait, il peut être également nécessaire de combiner les signaux de plusieurs détecteurs dans un système qui mesurera correctement la puissance globale de tout le réacteur. De même l'utilisation de détecteurs dans le cœur peut être nécessaire pour rendre possible la protection par une surveillance continue des conditions anormales, statiques ou transitoires du débit de fluence des neutrons, dues à des mouvements de barres ou à des réductions de réfrigération.
- * 2.2.4.1 Pendant le fonctionnement, la relation se modifie entre le signal donné par le détecteur de neutrons et la production de puissance brute. La compensation de cet effet peut exiger de refaire périodiquement l'étalonnage des ensembles de mesure du débit de fluence des neutrons.
- * 2.2.5 Quand des détecteurs de neutrons sont utilisés à des fins de sûreté et sont refroidis à une température inférieure à celle de leur environnement, les conséquences d'une défaillance des systèmes de refroidissement des détecteurs sont à prendre en considération et leurs effets doivent être rendus acceptables; il convient aussi de les signaler par une alarme.

2.4 Instrumentation de mesure du débit de fluence des neutrons

- * 2.4.1 d) Le débit de fluence des neutrons peut être surveillé en mesurant les fluctuations du signal d'un détecteur. Cette méthode est appelée « méthode de la variance ou du carré moyen ».

- * 1.3.7 Detectors which are vital for control or protection should be installed in a manner that permits replacement without the necessity for removing the core, the coolant or major components, and with the reactor at power.

Where detectors are located such that access for repair or replacement is not possible during or immediately after reactor operation because of the primary coolant radiation or because of the inerted cells, installed spares should be provided and these detectors wired to accessible locations.

2. Neutron fluence rate (flux) measurement

2.1 General

- * 2.1.3 Account should be taken of the effect of coolant activity on the detector output.
- * 2.1.5 Reactors designed to operate with a substantial proportion of the fuel at a high burn-up contain appreciable quantities of heavy isotopes which undergo spontaneous fission and other neutron-producing reactions. When deriving the shut-down reactivity margin from the fluence rate (flux) measurement, account should be taken of the change in shut-down neutron fluence rate (flux) due to build-up of these isotopes, and due to fuelling operations.

2.2 Neutron detectors

- * 2.2.2 For small reactors where adequate leakage of neutrons is present, the requirements for bulk power measurements may be satisfied using detectors mounted outside the reactor vessel. However, it may be necessary, because of the large size of the core or for other reasons, to place several detectors in the core to achieve accurate local and bulk power representations. Hence it may be necessary to combine signals from several detectors in a system that will adequately measure overall reactor power. The use of in-core detectors may also be necessary in order to provide the capability for protection by continuously monitoring for abnormal, steady state or transient neutron fluence rate (flux) conditions caused by rod movement or coolant restrictions.
 - * 2.2.4.1 During operation, the relationship between neutron detector signal and gross power generation changes. Compensation for this effect may require periodic recalibration of the neutron fluence rate (flux) measuring assemblies.
- * 2.2.5 Where neutron detectors are used for safety purposes and are cooled to a lower temperature than their surroundings, the failure of detector cooling systems shall be considered and the consequences made acceptable and signalled by an alarm.

2.4 Instrumentation for neutron fluence rate (flux) measurement

- * 2.4.1 d) The neutron fluence rate (flux) may be monitored by measuring the fluctuations of a detector signal. This method is called the “variance or mean square method”.

* 2.4.2 *Ensembles de mesures linéaires à courant*

Les réglages de niveau de déclenchement peuvent être commandés par des dispositifs automatiques, qui évitent les interventions fréquentes de l'opérateur. De cette manière, une marge préréglée est maintenue entre le débit de fluence existant et le niveau de déclenchement. Si le taux de variation du débit de fluence excède la valeur admissible, la marge se rétrécit jusqu'à l'intervention du déclenchement. On peut prévoir un moyen de faire varier automatiquement la marge de déclenchement en fonction du niveau de puissance du réacteur.

Les ensembles de ce genre doivent comporter:

- a) le moyen de fixer efficacement une limite supérieure au-delà de laquelle le niveau de déclenchement ne peut plus être réglé automatiquement;
- b) un déclenchement en cas de dépassement de la marge.

* 2.4.4 *Ensembles de mesures à comptage d'impulsions ou ensembles équivalents pour basses puissances*

Dans les réacteurs où certaines barres de commande sont retirées en arrêt normal, utiliser des ensembles de mesure pour basses puissances afin d'assurer la protection par un niveau de déclenchement.

* 2.4.5 *Ensembles de mesures au type à variance*

Pour un signal dans lequel se superposent un grand nombre d'événements aléatoires, la variance est proportionnelle au nombre d'événements, donc au débit de fluence des neutrons. Des ensembles de mesure appropriés amplifient la partie fluctuante du signal du détecteur et extraient soit la valeur quadratique moyenne, soit le carré de l'amplitude moyenne des fluctuations. La sortie peut être linéaire, linéaire avec gammes commutables, ou logarithmique. Le domaine d'utilisation est limité vers le bas par la sensibilité du détecteur et par le rapport signal sur bruit. La limite supérieure d'utilisation est une fonction de la saturation du détecteur et s'étend dans la gamme de production de puissance.

Il convient d'apporter un soin particulier au choix des constantes de temps et de la position des ensembles de mesure lorsqu'on utilise la méthode de la variance.

Note. — La méthode de la variance accentue la portion du signal due à la détection des neutrons, par rapport à la portion du signal due aux rayons gamma. Le domaine de fonctionnement est ainsi plus étendu du côté des puissances faibles que lorsqu'on utilise la mesure du courant moyen. En particulier dans les applications exigeant des détecteurs fonctionnant à haute température, l'emploi de la méthode de la variance diminue la gêne apportée par les fuites de courant continu, grâce à l'utilisation de la seule partie fluctuante du signal.

* 2.4.6 *Combinaisons d'ensembles de mesure à impulsions et à variance*

Le signal de variance provient habituellement d'une chambre d'ionisation à fission et sa limite inférieure du domaine utile de débit de fluence est bien en dessous de la limite supérieure du domaine utile de comptage des impulsions pour cette chambre.

Du fait de ce chevauchement, des ensembles de mesure du débit de fluence à grande étendue de mesure, qui fonctionnent à partir de signaux de comptage d'impulsions et de signaux de variance provenant de la même chambre d'ionisation à fission, sont quelquefois utilisés. Ce type d'ensembles à grande étendue de mesure peut être prévu pour donner une sortie linéaire ou logarithmique. La version logarithmique est habituellement accompagnée d'une mesure de la période.

Quand des appareils de mesure logarithmique de puissance de ce type à grande étendue de mesures sont utilisés, ils remplacent habituellement des ensembles logarithmiques à courant et des ensembles à impulsions séparés.

* 2.4.2 *Linear current measuring assemblies*

Trip level settings may be controlled by automatic adjustment features which avoid frequent operator intervention. In this way a pre-selected margin is maintained between the existing fluence rate level and the trip level. If the rate of change of fluence rate level exceeds the permissible rate, the margin reduces until a trip occurs. A means of automatically varying margin as a function of reactor power level may be provided.

Such assemblies shall include:

- a) means to set effectively an upper limit beyond which the trip level cannot automatically be reset;
- b) an excess margin trip.

* 2.4.4 *Pulse counting assemblies or equivalent low power measuring assemblies*

In those reactors where some control rods are withdrawn when normally shut down, low power measuring assemblies should be used to give trip level protection.

* 2.4.5 *Variance measuring assemblies*

In a signal comprising many superimposed random events, the variance is proportional to the number of events and thus proportional to the neutron fluence rate (flux). Typical assemblies amplify the fluctuating portion of the detector signal and extract either the mean-square value or the square of the average magnitude of the fluctuations. The output can be either linear, linear with switched range, or logarithmic. The range of operation is limited on the lower end by detector sensitivity and signal-to-noise ratio. The upper limit of operation is a function of detector saturation and extends into the power producing range.

Special attention should also be given to the time constants and to the position of the measuring assemblies in using the variance method.

Note. — The variance technique enhances the portion of the signal due to detection of neutrons, as compared with the portion of the signal due to gamma rays and owing to this the lower end of the range of operation is extended in comparison with the d.c. measurement technique. In applications requiring detector operation at high temperatures, the variance method overcomes the d.c. leakage problem by utilising only the fluctuation portion of the signal.

* 2.4.6 *Combined pulse counting/variance assemblies*

The variance signal is usually obtained from a fission chamber and its useful lower range of neutron fluence rate (flux) extends well below the upper end of the useful pulse counting range for the chamber.

Because of this overlap, wide range neutron fluence rate measuring assemblies are sometimes used which utilise both pulse counting and variance type signals from the same fission chamber. This type of wide range measuring assemblies may be designed for either a linear or logarithmic output. The latter is usually accompanied by a period measurement.

When such wide range log power channels are used, they usually take the place of separate logarithmic current and pulse counting assemblies.

Quand la mesure du débit de fluence à sortie logarithmique est faite en courant alternatif (comptage d'impulsions et variance), une pratique acceptable consiste aussi à utiliser la composante continue du courant de la chambre d'ionisation pour mesurer la puissance linéaire dans les niveaux supérieurs (voir le paragraphe 2.4.2). Si ce signal en courant linéaire est employé pour assurer une fonction de protection du réacteur, les ensembles de mesure linéaire à courant doivent satisfaire à toutes les prescriptions applicables aux ensembles de mesure du débit de fluence destinés à la protection des réacteurs.

2.4.7 *Mesure de la réactivité résiduelle à l'arrêt*

Une mesure périodique reliée à la réactivité résiduelle pourra être effectuée et devra tenir compte de l'incertitude de la mesure. Pendant le rechargement du combustible et autres manipulations des constituants du cœur du réacteur, des moyens suffisants seront prévus pour déterminer que la réactivité est en dessous d'une valeur limite sûre.

Dans ce cas, le critère déterminant la fréquence des mesures sera de ne pas entreprendre une manœuvre mécanique entre mesures qui soit susceptible de réduire la marge de réactivité par rapport aux conditions de criticité à une valeur jugée insuffisante pour la sécurité.

Il n'existe pas de procédure unique qui soit applicable à tous les aspects de l'arrêt du réacteur, il faudrait donc examiner les méthodes suivantes en fonction de la zone où elles sont applicables:

- 1) Analyse du bruit jusqu'à la fréquence de coupure.
- 2) Modulation de réactivité (par exemple oscillation de barre absorbante).
- 3) Inversion de la cinétique des neutrons.
- 4) Cohérence spectrale de la polarité.
- 5) Modulation de la source (cœur non irradié).
- 6) Asymétrie de la source (cœur non irradié).

*2.7 *Distribution du débit de fluence des neutrons*

Une surveillance du débit de fluence des neutrons dans le cœur peut être prévue pour en connaître la distribution et permettre une connaissance plus précise de la distribution détaillée de la puissance. Elle sert également à faciliter l'utilisation optimale du combustible en vue d'obtenir une puissance et une vie maximales du cœur.

3. **Mesures de température**

* 3.1.2 Les câbles de raccordement des dispositifs de rechange pour les mesures de température doivent aboutir à des endroits accessibles.

* 3.1.2 e) Le système de mesure du potentiel du thermocouple doit être protégé contre les effets d'une accumulation de charge excessive sur les thermocouples du cœur du réacteur due aux rayonnements ionisants.

When using a.c. (pulse counting and variance) technique for logarithmic neutron fluence rate measurement, it is also acceptable practice to use the d.c. component of the ion chamber current for linear power measurement in the upper ranges (see Sub-clause 2.4.2). If this linear current signal is used for a reactor protection function, the linear current assemblies must meet all of the requirements applicable to reactor protection fluence rate (flux) measuring assemblies.

2.4.7 *Measurement of shut-down reactivity*

Periodic measurement related to shut-down reactivity may be used and shall take into account the uncertainty of the measurement. During refuelling and other manipulation of reactor core components, sufficient means shall be provided to determine that the reactivity is below a safe limiting value.

In that case, the criterion for deciding the frequency of measurement shall be that no mechanical operation may be undertaken between measurements which could conceivably reduce the reactivity margin to criticality, to less than that considered adequate for safety.

There is no single technique which can be applied to all degrees of shutdown, so consideration should be given to the following methods with regard to their region of applicability:

- 1) Noise analysis up to break frequency.
- 2) Modulated reactivity (e.g. absorber rod oscillation).
- 3) Inverse neutron kinetics.
- 4) Polarity spectral coherence.
- 5) Source modulation (unirradiated core).
- 6) Asymmetric source (unirradiated core).

* 2.7 *Neutron fluence rate (flux) distribution*

In-core fluence rate (flux) monitoring may be provided to assess neutron fluence rate (flux) distribution within the core and to allow more accurate assessment of the detailed power distribution. It is also used to facilitate effective fuel management with a view to obtaining the maximum output and life from the core.

3. **Temperature measurement**

* 3.1.2 Installed spare temperature measuring devices should be cabled out to an accessible location.

* 3.1.2 e) The thermocouple potential measuring system shall be immune to the effects of excessive charge accumulation on reactor core thermocouples caused by ionizing radiations.

3.5 *Mesure de la température du fluide de refroidissement*

* 3.5.3.1 *Température du fluide de refroidissement à la sortie des canaux*

En plus des mesures de température pour les besoins de la protection, on peut obtenir un degré supplémentaire de protection en utilisant des capteurs de température à faible constante de temps thermique afin de déterminer les fluctuations de la température du fluide de refroidissement.

* 3.5.3.2 Pour une protection efficace, l'utilisation des températures du fluide de refroidissement à la sortie des canaux nécessite de prendre en considération les conditions de débit du fluide de refroidissement.

Il convient d'accorder une attention particulière au temps de transit, à la capacité thermique et à la situation par rapport à la sortie du canal de combustible.

3.9 *Mesure de la température du caisson*

Surveiller la température de la paroi du caisson du réacteur pendant les périodes de variation de température, pendant lesquelles les limites des contraintes et des déformations du caisson dues à la vitesse de variation de la température risquent d'être dépassées.

4. **Mesures relatives au fluide de refroidissement**

* 4.1 b) Tous les matériaux qui sont employés dans le système de mesure et qui sont au contact du fluide de refroidissement doivent être chimiquement et physiquement compatibles avec toutes les conditions et tous les matériaux du circuit de refroidissement. Les effets d'un contact accidentel avec le fluide de refroidissement devront être pris en considération.

4.2 *Débit du fluide de refroidissement*

4.2.3 *Débit du fluide dans les sous-ensembles de refroidissement*

Les mesures du débit du fluide de refroidissement peuvent être effectuées au niveau de chaque sous-ensemble de refroidissement afin de connaître les caractéristiques fonctionnelles du cœur du réacteur. Des anomalies dans le débit de ces sous-ensembles de refroidissement peuvent être détectées par les mesures décrites au paragraphe 3.5.3.1.

4.5 *Fuites du fluide de refroidissement*

4.5.1 *Fuites du métal liquide vers l'atmosphère*

Etant donné que le fluide de refroidissement est combustible, toxique et radioactif, on doit installer des dispositifs pour détecter et localiser les fuites du fluide, en particulier lorsqu'elles peuvent affecter la sécurité du réacteur ou des personnes, ou endommager les systèmes essentiels.

4.5.2 *Fuites d'eau ou de vapeur vers le métal liquide*

On doit installer des dispositifs de détection des fuites d'eau ou de vapeur vers le métal liquide; ils doivent comporter une sensibilité et une réponse temporelle appropriées.

3.5 *Measurement of coolant temperature*

* 3.5.3.1 *Channel coolant outlet temperature*

In addition to the measurement of temperature for protection purposes, a further degree of protection may be obtained by using temperature sensing devices of low thermal time constant to determine the fluctuations of the temperature of the coolant.

* 3.5.3.2 To be effective, use of channel coolant outlet temperature for protection requires consideration of coolant flow conditions.

Particular attention should be given to transit time, thermal capacity and location relative to the fuel channel outlet.

3.9 *Measurement of vessel temperature*

The temperature of the reactor vessel wall should be monitored during vessel temperature variations during which the stress or creep limits determined by rate of temperature change might be exceeded.

4. **Coolant measurements**

* 4.1 *b)* All materials used in the measuring system which are in contact with the coolant shall be compatible chemically and physically with all conditions and materials within the coolant circuit. The effects of accidental contact with the coolant shall be considered.

4.2 *Coolant flow*

4.2.3 *Sub-assembly coolant flow*

Coolant flow measurements may be made at every sub-assembly for core performance purposes. Sub-assembly coolant flow anomalies may be detected by the measurements described in Sub-clause 3.5.3.1.

4.5 *Coolant leakage*

4.5.1 *Liquid metal to atmosphere*

Owing to the combustible nature, toxicity and radioactivity of the coolant, means shall be installed to detect and locate the escape of coolant particularly where damage to parts of the reactor safety and essential systems or a personnel hazard could occur.

4.5.2 *Water or steam to liquid metal*

Means shall be installed to detect leakage of water or steam to liquid metal, with a suitable sensitivity and time response.

Les méthodes qui peuvent être employées sont par exemple :

- la concentration du métal liquide en hydrogène;
- la concentration du gaz de couverture en hydrogène;
- la concentration du métal liquide en oxygène;
- la concentration du gaz de couverture en oxygène;
- l'émission de signaux acoustiques au point de fuite;
- l'augmentation de la pression du gaz de couverture ou du métal liquide.

4.6 *Pureté du fluide de refroidissement*

Afin de contrôler la dégradation du cœur et des éléments du circuit, il peut être nécessaire de prévoir des moyens de mesurer la concentration des impuretés suivantes, directement dans le circuit ou par prélèvement :

- oxygène;
- carbone;
- azote;
- particules insolubles;
- hydrogène.

De plus, on peut utiliser des méthodes fondées sur la modification des propriétés physiques du fluide de refroidissement en fonction de la concentration des impuretés solubles pour obtenir une indication générale du niveau des impuretés.

4.7 *Activité du fluide de refroidissement*

Des moyens de surveillance de l'activité du fluide de refroidissement doivent être prévus pour indiquer tout niveau excessif des produits de fission et des produits corrosifs actifs.

Un système approprié peut être prévu, par exemple pour prélever du fluide de refroidissement de chaque sous-ensemble. La présence de produits de fission nouveaux, ou d'une quantité plus élevée de ces produits, peut servir à indiquer l'existence de ruptures de gaine du combustible: par exemple en faisant appel à des techniques de détection des neutrons différés ou de précipitation des gaz.

Ces mesures peuvent fournir des signaux au système de protection du réacteur. Dans ce cas, le sous-système et son installation doivent être conçus de manière à répondre aux normes applicables à ce système de protection.

4.9 *Ebullition du fluide de refroidissement*

Tout dispositif installé pour détecter une ébullition dans le cœur, commençante ou en cours, devra comprendre des capteurs en nombre suffisant pour détecter ce phénomène quel que soit le sous-ensemble qui en est le siège.

Methods which may be used include the following:

- hydrogen concentration in the liquid metal;
- hydrogen concentration in the cover gas;
- oxygen concentration in the liquid metal;
- oxygen concentration in the cover gas;
- acoustic emission from the leakage site;
- increasing pressure in cover gas or liquid metal system.

4.6 *Coolant purity*

In order to control the degradation of core and circuit components, it may be necessary to provide means for measuring the concentrations of the following impurities by either on-line or sampling methods:

- oxygen;
- carbon;
- nitrogen;
- insoluble particles;
- hydrogen.

In addition, techniques based on the change of physical properties of the coolant with soluble impurity concentration may be used to give a general indication of impurity levels.

4.7 *Coolant activity*

Means shall be provided for monitoring coolant activity to indicate excess levels of fission products and active corrosion products.

For example, a system may be provided to sample the coolant from sub-assemblies. The presence of fresh or a higher level of fission products can be used to indicate fuel cladding failures: for example, by using delayed neutron detection or gas precipitator techniques.

These measurements may provide signals to the reactor protection system. In this case the sub-system and its installation shall be designed to protection system standards.

4.9 *Coolant boiling*

Any means installed for the detection of incipient or actual boiling in the core shall incorporate sufficient sensors to detect this phenomenon arising from any sub-assembly.

4.10 Réseau du gaz de couverture

4.10.1—Pureté du gaz de couverture

Le réseau du gaz de couverture appartient aux limites du système de refroidissement. Effectuer une analyse du gaz, lorsque cela est applicable, avec un moniteur en continu pour indiquer les modifications de la composition du gaz témoignant d'un défaut de certaines parties du réseau du gaz de couverture.

Des méthodes d'identification de gaz peuvent être utilisées pour détecter des fuites de gaz autres que les gaz de fission, au niveau des aiguilles de combustible repérées.

4.10.2 Activité du gaz de couverture

Le réseau du gaz de couverture devra être muni des moyens de détecter les dépassements des concentrations autorisées en produits de fission. Il convient de considérer les effets du rayonnement ambiant provenant, par exemple, de l'argon 41 et du néon 23.

5. Systèmes de protection

5.4 Fonctions du système de protection

5.4.2 Système d'arrêt d'urgence

Bien qu'il ne soit pas possible, pour l'instant, de proposer une théorie complète du choix des variables caractéristiques de sécurité, applicable aux réacteurs rapides refroidis au sodium, il convient de prendre en considération, pour le choix de la configuration d'une centrale, des facteurs pris dans la liste suivante:

- a) valeurs excessives ou insuffisantes du débit moyen de fluence des neutrons;
- b) niveaux excessifs ou insuffisants du fluide de refroidissement;
- c) excès de température ou de variation de température du fluide de refroidissement à la sortie du cœur;
- d) débit insuffisant du fluide de refroidissement dans le cœur;
- e) excès de température du fluide de refroidissement à la sortie d'un sous-ensemble;
- f) débit insuffisant du fluide de refroidissement dans un sous-ensemble;
- g) vitesse insuffisante de pompe primaire;
- h) début d'ébullition ou ébullition en cours du fluide de refroidissement;
- i) excès de la vitesse de variation de la période du débit de fluence des neutrons;
- j) variation importante du débit de fluence des neutrons;
- k) excès d'activité dans un système de confinement ventilé;
- l) excès de la vitesse de variation de la température du fluide de refroidissement à la sortie du cœur;
- m) secousses sismiques importantes;
- n) excès d'activité et de taux d'accroissement d'activité des produits de fission du fluide de refroidissement (comprenant les techniques de surveillance des neutrons différés);