

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60231E

Première édition
First edition
1977-01

Cinquième complément à la Publication 60231 (1967)

**Principes généraux de l'instrumentation
des réacteurs nucléaires**

Principes de l'instrumentation des réacteurs de puissance à haute température refroidis par gaz et à cycle indirect (HTGR)

Fifth supplement to Publication 60231 (1967)

**General principles of nuclear reactor
instrumentation**

Principles of instrumentation of high temperature indirect cycle gas-cooled power reactors (HTGR)



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60231E: 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**

60231E

Première édition
First edition
1977-01

Cinquième complément à la Publication 60231 (1967)

**Principes généraux de l'instrumentation
des réacteurs nucléaires**

Principes de l'instrumentation des réacteurs de puissance à haute température refroidis par gaz et à cycle indirect (HTGR)

Fifth supplement to Publication 60231 (1967)

**General principles of nuclear reactor
instrumentation**

Principles of instrumentation of high temperature indirect cycle gas-cooled power reactors (HTGR)

© 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

H

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

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CINQUIÈME COMPLÈMENT À LA PUBLICATION 231 (1967)
PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'INSTRUMENTATION
DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES

PRINCIPES DE L'INSTRUMENTATION DES RÉACTEURS DE PUISSANCE
À HAUTE TEMPÉRATURE REFROIDIS PAR GAZ ET À CYCLE INDIRECT (HTGR)

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 cinquième complément à la Publication 231 de la CEI: Principes généraux de l'instrumentation des réacteurs nucléaires.

Ce travail a été entrepris à la suite de la décision prise à la réunion tenue à Londres en 1972.

Un projet fut discuté lors de la réunion tenue à Milan en 1974. A la suite de cette réunion, un projet, document 45A(Bureau Central)31, 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')	Pologne
Allemagne	Roumanie
Belgique	Royaume-Uni
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
France	Tchécoslovaquie
Israël	Turquie
Italie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Japon	Yougoslavie

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIFTH SUPPLEMENT TO PUBLICATION 231 (1967)

GENERAL PRINCIPLES OF NUCLEAR REACTOR INSTRUMENTATION

PRINCIPLES OF INSTRUMENTATION OF HIGH TEMPERATURE INDIRECT CYCLE
GAS-COOLED POWER REACTORS (HTGR)

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 fifth supplement to IEC Publication 231, General Principles of Nuclear Reactor Instrumentation.

The decision to undertake this work was taken at the meeting held in London in 1972.

A draft was discussed at the meeting held in Milan in 1974. As a result of this meeting, a draft, Document 45A(Central Office)31, 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
Czechoslovakia	South Africa (Republic of)
France	Switzerland
Germany	Turkey
Israel	Union of Soviet Socialist Republics
Italy	United Kingdom
Japan	United States of America
Poland	Yugoslavia

CINQUIÈME COMPLÈMENT À LA PUBLICATION 231 (1967)
**PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'INSTRUMENTATION
DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES**

**PRINCIPES DE L'INSTRUMENTATION DES RÉACTEURS DE PUISSANCE
À HAUTE TEMPÉRATURE REFROIDIS PAR GAZ ET À CYCLE INDIRECT (HTGR)**

1. Introduction

1.1 Généralités

L'objet de ce complément est d'établir un code de bonne pratique s'appliquant particulièrement aux réacteurs de puissance à haute température refroidis par gaz et à cycle indirect (HTGR), complétant les généralités qui figurent dans les Publications 231 de la CEI: Principes généraux de l'instrumentation des réacteurs nucléaires, et 231A: Premier complément.

La numérotation des articles de ce complément concorde avec les articles des Publications 231 et 231A 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.

1.2 Domaine d'application

Ce complément traitant des principes généraux de l'instrumentation s'applique aux réacteurs à haute température refroidis par gaz dans lesquels le fluide de refroidissement primaire est de l'hélium à haute pression circulant au travers du cœur d'un réacteur modéré au graphite et d'un générateur de vapeur. La vapeur du générateur est utilisée pour entraîner les turbo-alternateurs principaux ou à d'autres fins. Le combustible enrichi est non métallique et peut être enrobé de graphite, de céramique ou d'autres matériaux non métalliques résistant à de hautes températures.

2. Mesures du débit de fluence des neutrons

2.4 Instrumentation de mesure du débit de fluence des neutrons

*2.4.1.1 Le débit de fluence des neutrons peut être surveillé en mesurant les fluctuations du signal du détecteur. Cette méthode est appelée méthode de la variance ou méthode de la valeur quadratique moyenne.

*2.4.5 *Ensembles de mesure du type à variance*

Pour un signal dans lequel se superposent de nombreux 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 soit linéaire, soit linéaire avec calibres commutables, soit logarithmique. L'étendue de mesure est limitée vers le bas par la sensibilité du détecteur et par le rapport signal sur bruit. La limite supérieure de l'étendue de mesure est une fonction de la saturation du détecteur et appartient au domaine des valeurs correspondant à la production d'énergie.

Il convient également de choisir soigneusement les constantes de temps des ensembles de mesure lorsqu'on utilise la méthode de la variance.

FIFTH SUPPLEMENT TO PUBLICATION 231 (1967)
GENERAL PRINCIPLES OF NUCLEAR REACTOR INSTRUMENTATION

PRINCIPLES OF INSTRUMENTATION OF HIGH TEMPERATURE INDIRECT CYCLE
GAS-COOLED POWER REACTORS (HTGR)

1. Introduction

1.1 General

The purpose of this supplement is to lay down a code of practice specially applicable to high temperature indirect cycle gas-cooled power reactors (HTGR), in addition to that given in IEC Publications 231, General Principles of Nuclear Reactor Instrumentation, and 231A, first supplement.

The numbering of the 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.

1.2 Scope

This supplement dealing with the general principles for instrumentation applies to high temperature gas-cooled reactors in which the primary coolant is high pressure helium gas circulated through a graphite moderated reactor core and a steam generator. Steam from the steam generator is used to feed the main turbine generators-set(s) or other auxiliary devices. The enriched fuel is non-metallic and may be coated with graphite, ceramic or other high temperature non-metallic materials.

2. Neutron fluence rate (flux) measurements

2.4 Instrumentation for neutron fluence rate (flux) measurement

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

*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 effective range is limited on the lower end by detector sensitivity and signal-to-noise ratio. The upper limit of the effective range is a function of detector saturation and extends into the power-producing range.

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

La méthode de la variance accentue la partie du signal due à la détection des neutrons par rapport à la partie du signal due aux rayons gamma. La limite inférieure de l'étendue de mesure est donc inférieure à celle qui correspond à la méthode de mesure du courant continu. Dans les applications nécessitant des détecteurs fonctionnant à hautes températures, les mesures obtenues par la méthode de la variance ne sont pas perturbées par les fuites de courant continu du fait de l'utilisation de la seule partie fluctuante du signal.

*2.4.6 *Ensembles combinés à comptage d'impulsions et à variance*

Le signal de variance est généralement obtenu à partir d'une chambre à fission. La limite inférieure de l'étendue de mesure du débit de fluence des neutrons s'étend alors bien au-dessous de la limite supérieure de l'étendue de mesure de la chambre en comptage d'impulsions.

A cause de ce recouvrement, on utilise parfois des ensembles à grande étendue de mesure pour le débit de fluence des neutrons. Ces ensembles utilisent à la fois les signaux de comptage d'impulsions et les signaux de variance à partir de la même chambre à fission. Ce type de voie à grande étendue de mesure couvrira environ dix puissances de 10 (10^{10}) et pourra être conçue pour une sortie soit linéaire, soit logarithmique. Cette dernière s'accompagne généralement d'une mesure de période.

Quand on utilise de telles voies à grande étendue et à sortie logarithmique, elles remplacent en général deux ensembles distincts pour la mesure du courant et pour le comptage des impulsions.

Pour la mesure logarithmique du débit de fluence, quand on utilise la technique en courant alternatif (à comptage d'impulsions et à variance), il est aussi accepté d'utiliser, en pratique, la composante continue du courant de la chambre d'ionisation pour une mesure linéaire de la puissance, pour les puissances élevées (voir le paragraphe 2.4.2). Si on utilise ce signal linéaire de courant pour la protection du réacteur, les ensembles linéaires de mesure du courant doivent satisfaire toutes les prescriptions qui s'appliquent aux ensembles de mesure du débit de fluence pour la protection du réacteur.

*2.7 *Mesure de la distribution du débit de fluence*

Une surveillance du débit de fluence des neutrons à l'intérieur du cœur peut être prévue pour en évaluer la répartition dans le cœur et permettre une évaluation plus précise de la répartition fine de la puissance. Elle peut servir également à faciliter la gestion du combustible pour obtenir du cœur une énergie et une vie maximales.

3. **Mesures des températures**

*3.3 *Mesure de la température du combustible*

Du fait que les caractéristiques de transfert de chaleur, la répartition de puissance, la température et le débit du fluide de refroidissement sont connus ou mesurés, il est possible de déterminer la température des gaines ou de l'enrobage du combustible sans avoir à en faire la mesure directe.

La température des gaines ou de l'enrobage du combustible peut ainsi être maintenue dans des limites sûres en maintenant le débit de fluence des neutrons, la répartition de puissance, ainsi que le débit et la température du fluide de refroidissement dans des limites appropriées.

3.5 *Mesure de la température du fluide de refroidissement*

La mesure de la température de sortie du fluide de refroidissement dans les diverses zones de combustible du réacteur peut être nécessaire afin de permettre l'ajustement des orifices du cœur (quand il y en a) pour le contrôle du débit de refroidissement dans le canal.

The variance technique enhances the portion of the signal due to detection of neutrons, as compared to the portion of the signal due to gamma rays, and owing to this the lower limit of the effective range 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 utilizing only the fluctuating portion of the signal.

**2.4.6 Combined pulse counting/variance assemblies*

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

Because of this overlap, wide effective range neutron fluence rate measuring assemblies are sometimes used which utilize both pulse counting and variance type signals from the same fission chamber. Typically, this type of wide range channel will cover about ten decades (10^{10}) and may be designed for either a linear or logarithmic output. The latter is usually accompanied by a period measurement.

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

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 shall meet all the requirements applicable to reactor protection fluence rate (flux) measuring assemblies.

**2.7 Measurement of 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 may also be used to facilitate effective fuel management with a view to obtaining the maximum output and life from the core.

3. Temperature measurements

**3.3 Measurement of fuel temperature*

Since the heat transfer characteristics, the power distribution and the coolant temperature and flow are known or measured, it is feasible to determine fuel cladding or coating temperature without having to make the measurement directly.

Thus, the temperature of the fuel cladding or coating can be maintained within safe limits by maintaining the neutron fluence rate (flux), the power distribution, the coolant flow and the coolant temperature within appropriate limits.

3.5 Measurement of coolant temperature

The measurement of the reactor fuel region coolant outlet temperature may be required to permit adjustment of core orifices (when provided) to control coolant channel flow.

La température du fluide de refroidissement à la sortie du réacteur (mesurée à l'entrée des générateurs de vapeur) sert généralement de signal d'entrée pour le système d'arrêt d'urgence, et peut également être utilisée pour la conduite du réacteur.

Pour utiliser la température du fluide de refroidissement à la sortie du réacteur à des fins de protection, il faut que le débit du fluide de refroidissement soit suffisant pour permettre une mesure significative des températures.

3.5.4 *Température du caisson en béton précontraint*

Les réacteurs à haute température refroidis au gaz sont ordinairement installés à l'intérieur d'un caisson en béton précontraint muni d'une peau d'étanchéité en acier de faible épaisseur; ils doivent être maintenus à des températures acceptables. Ils peuvent être refroidis directement ou indirectement; on peut prévoir des systèmes de refroidissement redondants. Prévoir des moyens pour détecter les conditions anormales qui pourraient conduire à des températures inacceptables de la peau d'étanchéité ou du béton.

4. **Mesures intéressant le fluide de refroidissement**

4.2 *Débit du fluide de refroidissement*

On peut avoir recours à des mesures de perte de charge dans le cœur du réacteur ou de débit dans des boucles particulières pour le système de protection et pour la conduite du réacteur.

En variante, on peut effectuer ces mesures de manière indirecte en mesurant, par exemple, la position des vannes du fluide de refroidissement, la pression de celui-ci, et le nombre et la vitesse des pompes de circulation en service.

Dans les réacteurs à gaz à haute température à canaux, il peut être difficile de mesurer le débit d'un canal particulier à travers le cœur. Il pourra être nécessaire d'effectuer une combinaison adéquate des mesures d'autres variables (comme la répartition du débit de fluence des neutrons, la température de sortie, etc.) pour s'assurer que la température de l'enrobage du combustible est maintenue dans des limites appropriées.

4.3 *Pression du fluide de refroidissement*

Il faut mesurer la pression d'hélium pour assurer un débit adéquat du fluide de refroidissement et pour éviter les surpressions. Le fluide de refroidissement du réacteur consiste généralement en une masse totale constante d'hélium; par conséquent, la pression du fluide de refroidissement varie avec sa température moyenne. On utilise généralement à la fois les déclenchements par haute et basse pression pour la sécurité. Il peut y avoir excès de pression si une fuite de vapeur à haute pression se produit dans le générateur de vapeur. On utilise des moniteurs d'humidité pour détecter cet accident (voir le paragraphe 4.8.2).

*4.5.1 *Fuite du fluide de refroidissement dans l'enveloppe primaire*

Lorsque le réacteur est contenu dans une enceinte de confinement, une pression excessive dans cette enceinte ou d'autres grandeurs caractéristiques mesurées (par exemple les températures) peuvent indiquer une rupture dans l'enveloppe primaire (voir le paragraphe 5.1.2.1) et, dans ce cas, peuvent être utilisées pour provoquer un arrêt d'urgence de sécurité.

4.5.2 *Fuite du fluide de refroidissement vers les circuits de vapeur*

Dans les parties des générateurs de vapeur où les pressions de vapeur, dans les conditions normales de fonctionnement, peuvent être inférieures à la pression du fluide de refroidissement, une activité élevée dans les tuyauteries de sortie d'un générateur de vapeur, ou d'autres mesures, pourraient indiquer une rupture de canalisation, par exemple dans la zone du réchauffeur du générateur de vapeur.

Reactor coolant outlet temperature (measured at input to steam generators) is also generally used as an input for the safety shutdown system and may also be used for reactor control.

The use of reactor coolant outlet temperature for protection requires coolant flow sufficient for meaningful temperature measurement to be provided.

3.5.4 *Pre-stressed concrete pressure vessel temperature*

High temperature gas-cooled reactors are usually contained within a pre-stressed concrete pressure vessel with a thin steel liner both of which have to be maintained at acceptable temperatures; they may be cooled either directly or indirectly and redundant systems may be provided. Means shall be provided to detect abnormal conditions which could lead to unacceptable liner or concrete temperatures.

4. **Coolant measurements**

4.2 *Coolant flow*

The pressure drop across the reactor core or individual loop flow measurements may be used for protective system and control purposes.

An alternative means of making this measurement may be by indirect measurement, for example, the position of coolant valves, coolant pressure and the number and speed of circulators in service.

In the channel type high temperature gas reactors, the measurement of individual channel flow through the core may be difficult. An adequate combination of measurement of other variables (such as neutron fluence rate [flux] distribution, outlet temperature, etc.) may be necessary to ensure that the temperature of the fuel coating is maintained within appropriate limits.

4.3 *Coolant pressure*

The measurement of helium pressure is necessary to ensure adequate mass flow of coolant and to prevent over-pressure. The reactor coolant is usually a constant mass inventory of helium; therefore, the reactor coolant pressure varies with the average coolant temperature. Both high and low pressure trips are usually used for safety purposes. Over-pressure can occur if a high pressure steam leak occurs in the steam generator. Moisture monitors are used to detect this accident (see Sub-clause 4.8.2).

*4.5.1 *Coolant leakage in the primary envelope*

Where the reactor is enclosed in a containment structure, high containment pressure or other measured parameters (for example temperatures) may be indicative of a break in the primary envelope (see Sub-clause 5.1.2.1) and in this case may be used to initiate a safety shutdown.

4.5.2 *Coolant leakage to steam system*

In those portions of steam generators where the normal range of operating steam pressure may be lower than the coolant pressure, high radiation in lines leaving a steam generator or other measurements could indicate a tube failure, such as in the reheater portion of the steam generator.

Quand une fuite est détectée, un arrêt d'urgence de sécurité ou un isolement du générateur de vapeur peut être nécessaire afin de limiter la quantité de produits radioactifs rejetés dans les circuits d'eau et de vapeur.

4.8 *Fuite de vapeur à haute pression vers le fluide primaire de refroidissement*

4.8.1 Un excès de pression du fluide primaire de refroidissement ou un excès de teneur en eau de ce fluide pourraient indiquer une rupture de canalisation dans la section principale du générateur de vapeur car la pression de la vapeur dans cette section est en général plus élevée que celle du fluide de refroidissement. Il faut alors isoler le générateur de vapeur défectueux, soit du côté primaire, soit du côté secondaire, soit des deux côtés pour limiter l'augmentation de pression du fluide primaire de refroidissement.

4.8.2 *Surveillance de la teneur en eau du fluide de refroidissement*

Dans un réacteur à gaz à haute température, le modérateur au graphite se trouve porté à une très haute température jusqu'à 1000°C ou plus suivant les types. La vapeur pénétrant dans une boucle primaire de refroidissement en provenance d'un générateur de vapeur défectueux réagira à ces températures avec le graphite en produisant de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène avec une perte correspondante de graphite. Toute perte de graphite se produisant pendant un certain temps, même si elle n'est due qu'à une petite fuite, est considérée comme indésirable. Par conséquent, on devrait prévoir un système fiable de surveillance de la teneur en eau afin de détecter les fuites de chaque générateur de vapeur ou échangeur de chaleur à eau à haute pression. Ce système de surveillance devrait pouvoir détecter de très faibles quantités d'humidité, par exemple un millionième en volume.

Le système ci-dessus, ou un système supplémentaire, doit provoquer un déclenchement pour un degré d'humidité nettement plus élevé, par exemple pour 10^{-3} ; ce déclenchement peut servir à provoquer l'isolement de boucle, l'isolement du générateur de vapeur ou à mettre en route le système de protection; dans ce dernier cas, il doit être construit selon les normes du système de protection décrites dans l'article 5 de la Publication 231A de la CEI.

5. **Système de protection**

5.1 *Définitions*

*5.1.21 *Enveloppe primaire*

Enceinte à étanchéité poussée contenant le combustible et le fluide de refroidissement primaire.

5.4 *Fonctions du système de protection*

5.4.2 *Système d'arrêt d'urgence de sécurité*

Certaines variables doivent être surveillées de manière à provoquer un arrêt d'urgence si des limites préétablies sont dépassées. Différentes grandeurs physiques d'anticipation peuvent être surveillées et peuvent également provoquer un arrêt d'urgence de sécurité.

On trouvera ci-après la liste des conditions d'arrêt d'urgence retenues dans plusieurs réacteurs à gaz à haute température conçus ou construits et qu'il convient de prendre en considération. Selon la configuration de l'installation, d'autres grandeurs caractéristiques peuvent nécessiter une surveillance:

- a) débit moyen de fluence de neutrons excessif rapporté, le cas échéant, au débit du fluide de refroidissement du cœur;

When a leak is detected, a safety shutdown or steam generator isolation may be necessary to limit the amount of radioactive products released to the steam-water system.

4.8 *High pressure steam leakage into the primary coolant*

4.8.1 High primary coolant pressure or high primary coolant moisture could indicate a tube failure in the main steam section of the steam generator because the steam pressure in this section is usually at a higher pressure than the coolant. Isolation of the faulty steam generator on either the primary and/or secondary side is needed to limit the primary coolant pressure increase.

4.8.2 *Coolant moisture monitoring*

In a high temperature gas reactor, the graphite moderator operates at a very high temperature, up to 1000°C or higher for some designs. Steam entering a primary coolant loop from a faulty steam generator will react with the graphite at these temperatures producing carbon monoxide and hydrogen with a resulting loss of graphite. Loss of graphite over a period of time from even a small leak is considered undesirable and therefore a sensitive, reliable moisture monitor system should be installed to detect leaks from each steam generator or high pressure water heat exchanger. This monitoring system should be able to detect very small amounts of moisture, for example 1 ppm by volume.

The above system or an additional system shall produce a trip at some higher moisture content, for example 10^{-3} ; this trip may be used to initiate loop isolation, steam generator isolation or protection system action; in the latter case, it shall be constructed according to protection system standards as described in Clause 5 of IEC Publication 231A.

5. **Protection system**

5.1 *Definitions*

*5.1.21 *Primary envelope*

An enclosure of high integrity containing the fuel and the primary coolant.

5.4 *Functions within protection system*

5.4.2 *Safety shutdown system*

Certain variables shall be monitored in order to initiate a safety shutdown, should pre-set limits be exceeded. Various anticipatory parameters may be monitored and may also initiate a safety shutdown.

The following is a list of safety shutdown conditions that have been used in several high temperature gas reactors designed or constructed and should be considered. Depending on plant configuration, other parameters may need monitoring:

a) high average neutron fluence rate (flux) and/or ratio of high fluence rate to core cooling flow;

- b) pression excessive du fluide de refroidissement du réacteur;
- c) pression insuffisante du fluide de refroidissement du réacteur;
- d) pression excessive de l'atmosphère dans l'enceinte de confinement quand on a une enceinte à faible taux de fuite;
- e) teneur en eau excessive du fluide primaire de refroidissement dans une boucle;
- f) température excessive du fluide primaire de refroidissement;
- g) débit inadéquat du fluide de refroidissement;
- h) arrêt d'urgence de sécurité commandé manuellement;
- i) panne d'alimentation électrique essentielle;
- j) débit insuffisant d'eau d'alimentation.

* 5.4.7 *Dispositifs de secours*

Un dispositif de secours doit fonctionner pendant ou après un accident pour en limiter les conséquences. Les dispositifs de sécurité, les commandes, l'instrumentation et l'alimentation de secours doivent être conçus conformément aux prescriptions applicables au système de protection.

Une alimentation de secours est essentielle pour le fonctionnement de plusieurs dispositifs de sécurité. La conception de cette source de secours n'est toutefois pas traitée dans cette norme.

Les dispositifs de secours ci-après ont été retenus dans la conception de plusieurs réacteurs à gaz à haute température. Il convient de les prendre en considération.

5.4.7.1 *Mise en route du dispositif de secours pour l'isolement de l'enceinte de confinement*

Un dépassement des limites prévues pour la pression ou la radioactivité doit provoquer la mise en action du dispositif d'isolement de l'enceinte de confinement.

5.4.7.2 *Mise en route du dispositif de secours pour le refroidissement d'urgence du cœur*

Le système de refroidissement d'urgence du cœur se compose ordinairement d'une ou de plusieurs boucles indépendantes comprenant une pompe de circulation et un échangeur de chaleur d'une capacité suffisante pour évacuer la chaleur résiduelle du réacteur.

La grande capacité thermique du cœur modéré au graphite donne la possibilité d'une accumulation de chaleur qui, compte tenu du fait que le fluide de refroidissement est en une seule phase, peut ne pas nécessiter la mise en action, par le système de protection, du système auxiliaire de refroidissement du cœur dans les réacteurs à gaz à haute température.

Pour cette raison, le système de refroidissement auxiliaire du cœur doit pouvoir être mis en service manuellement quand les boucles principales de refroidissement sont inutilisables.

* 9. **Conduite du réacteur**

Pour les réacteurs à gaz à haute température, la température désirée de surchauffe peut être obtenue par réglage de la puissance thermique.

9.2 *Mouvement des barres de commande*

Dans les réacteurs à gaz à haute température de grande puissance volumique, il peut être souhaitable d'éviter des élévations locales excessives du débit de fluence neutronique. Dans ce cas, il est de pratique courante de prévoir des alarmes en cas de retrait des barres hors séquence, ou des verrouillages. Ces alarmes ou ces verrouillages doivent être définis en fonction du rapport de la puissance du cœur au débit du fluide de refroidissement.

- b) high reactor coolant pressure;
- c) low reactor coolant pressure;
- d) high pressure of the containment atmosphere when a low leakage containment structure is provided;
- e) high primary coolant moisture in a loop;
- f) high primary coolant temperature;
- g) inadequate coolant flow;
- h) manual safety shutdown;
- i) loss of essential electrical power;
- j) loss of feed water flow.

*** 5.4.7 Engineered safety features**

An engineered safety feature shall function during or after an accident to limit the consequences of the accident. Engineered safety features, controls, instrumentation and emergency power shall be designed in accordance with applicable protection system criteria.

Emergency power is essential to several engineered safety features, but the design of the emergency power system is not considered in this standard.

The following engineered safety features have been used in several high temperature gas reactor designs and should be considered.

5.4.7.1 Initiation of emergency containment isolation

Pressure or radioactivity above pre-set limits in the secondary containment atmosphere shall result in initiation of containment isolation.

5.4.7.2 Initiation of emergency core cooling system

The emergency core cooling system usually consists of an independent loop(s) containing a circulator and heat exchanger of sufficient capacity to remove the residual reactor heat.

The high thermal capacity of the graphite moderated core provides heat storage which together with the single-phase coolant may eliminate the need for safety system initiation of auxiliary core cooling in high temperature gas reactor plants.

Because of this, the auxiliary core cooling system may be manually initiated when the main coolant loops are unavailable for safe shutdown cooling.

*** 9. Reactor control**

In a high temperature gas reactor, thermal power should be controlled to provide the desired super-heat steam temperature.

9.2 Control rod movement

In high power density high temperature gas reactors, it may be desirable to prevent high local neutron fluence rate (flux) levels. In such cases, control rod withdrawal out-of-sequence alarms or interlocks are common practice. Sequence alarms or interlocks have to be set taking into account core power to flow ratio conditions.

Dans les réacteurs de puissance où il est souhaitable d'observer une séquence prédéterminée de retrait des barres pour éviter des variations anormales de réactivité ou de répartition de puissance, la séquence correcte de mouvement des barres peut être contrôlée jusqu'à un niveau de puissance au-dessus duquel la lenteur de l'augmentation de l'efficacité des barres compte tenu de leur vitesse rend ce contrôle inutile.

*9.3 *Indication de la position et du mouvement des barres de commande*

La position et le mouvement des barres de commande doivent être indiqués en salle de conduite pour que l'opérateur puisse atteindre les configurations de barres prescrites. La position de chaque barre de commande (ou de chaque groupe de barres mécaniquement reliées) devrait être fournie à l'opérateur de façon continue ou sur sa demande.

On peut aussi prévoir des moyens pour l'enregistrement et la mise à jour des informations concernant la position des barres.

Un calculateur en ligne peut sur demande assurer l'affichage de la position et des données enregistrées. Quand on choisit de déplacer une certaine barre de commande (ou un certain groupe de barres) on doit afficher sa position. On peut afficher celle des barres adjacentes.

Prévoir une alarme qui annonce tout mouvement anormal des barres de commande.

L'indication des états suivants doit, si cela s'applique, être affichée pour chaque barre, en particulier quand il n'y a pas de représentation complète des positions dans le cœur :

- a) barre complètement insérée;
- b) barre complètement sortie;
- c) barre sélectionnée pour un déplacement;
- d) dérive de position;
- e) barre en position d'arrêt d'urgence;
- f) câble mou (si les barres sont actionnées par un câble);
- g) câble tendu (si les barres sont actionnées par un câble).

*9.4 *Contrôle de la distribution spatiale du débit de fluence*

Un calculateur peut être utilisé pour déterminer la configuration des barres de commande qui donnera la répartition de puissance désirée et permettra le fonctionnement le plus économique.

En utilisant les informations relatives à la sélection des barres, à leur position et aux configurations désirées, le calculateur peut être utilisé pour définir les alarmes de retrait mentionnées au paragraphe 9.2.

In power reactors in which it is desirable to follow pre-determined sequences of control rod withdrawal to avoid abnormal reactivity changes or power distribution, the correct sequence of rod movement may be monitored up to a power level above which the low incremental rod worth combined with the rod speed make such monitoring unnecessary.

*9.3 *Indication of control rod position and movement*

The position and motion of the control rods shall be indicated in the control room to provide the operator with the means to achieve prescribed control rod patterns. The position of each control rod (or mechanically connected rod group) should be available to the operator on a continuous basis or on demand by the operator.

Means may also be provided for logging and updating of rod position data.

An on-line computer may provide the on-demand position display and data logging. When any control rod (or rod group) is selected for movement, its position shall be displayed and the position of adjacent rods may be displayed.

Provision should be made for an alarm to indicate any abnormal control rod movement.

Indication of the following conditions, if applicable, should be displayed for each rod, particularly when a full core position display is not provided:

- a) control rod fully inserted;
- b) control rod fully withdrawn;
- c) control rod selected for movement;
- d) control rod drifting;
- e) control rod inserted by safety shutdown system;
- f) slack cable (for cable actuated control rod drives);
- g) tight cable (for cable actuated control rod drives).

*9.4 *Fluence rate (flux) pattern control*

A computer may be used to determine the control rod pattern that will give the desired power distribution and permit the most economical operation.

By using the information of rod selection, rod position and desired rod patterns, the computer may be used to generate the withdrawal alarms mentioned in Sub-clause 9.2.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited, - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ICS 27.120.10
