

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60231

Première édition
First edition
1967-01

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

**General principles of nuclear reactor
instrumentation**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60231: 1967

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**

60231

Première édition
First edition
1967-01

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

**General principles of nuclear reactor
instrumentation**

© IEC 1967 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

R

*For 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 flux neutronique	8
2.1 Généralités	8
2.2 Détecteurs de neutrons	8
2.3 Sources de neutrons	10
2.4 Instrumentation de mesure du flux neutronique	12
2.5 Déclenchements à niveau et à taux de variation de flux	16
2.6 Etalonnage et vérification des ensembles de mesure du flux neutronique	18
2.7 Mesure de la distribution du flux	18
3. Mesures de températures	18
3.1 Conditions générales	18
3.2 Effet de l'irradiation sur la précision des mesures de température	20
3.3 Mesure de la température du combustible	20
3.4 Mesure de la température du modérateur	20
3.5 Mesure de la température du fluide de refroidissement	20
3.6 Mesure des températures jugées d'importance vitale pour la sécurité du réacteur	22
3.7 Ensemble de protection contre les dépassements de température	22
3.8 Affichage des températures	22
4. Mesures intéressant le fluide de refroidissement	22
4.1 Considérations générales	22
4.2 Débit du fluide de refroidissement	24
4.3 Pression du fluide de refroidissement	24
4.4 Niveau du fluide de refroidissement	26
4.5 Fuites du fluide de refroidissement	26
4.6 Pureté du fluide de refroidissement	26
4.7 Activité du fluide de refroidissement	26
5. Equipements de protection	26
6. Alimentations des appareils	28
6.1 Caractéristiques générales	28
6.2 Alimentations secourues	28
7. Moyens de contrôle et de commande	30
7.1 Généralités	30
7.2 Implantation de la salle de contrôle et de commande	30
7.3 Aménagement de la salle de contrôle et de commande	30
7.4 Communications	34
8. Signalisations	36

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 flux measurement	9
2.1 General	9
2.2 Neutron detectors	9
2.3 Neutron sources	11
2.4 Instrumentation for neutron flux measurements	13
2.5 Flux level and flux rate trips	17
2.6 Calibration and testing of neutron flux measuring assemblies	19
2.7 Measurement of flux distribution	19
3. Temperature measurement	19
3.1 General considerations	19
3.2 Effect of irradiation on accuracy of temperature measurement	21
3.3 Measurement of fuel temperature	21
3.4 Measurement of moderator temperature	21
3.5 Measurement of coolant temperature	21
3.6 Measurement of temperatures which are considered to be vital for reactor safety	23
3.7 Temperature protection assembly	23
3.8 Presentation of temperatures	23
4. Coolant measurements	23
4.1 General considerations	23
4.2 Coolant flow	25
4.3 Coolant pressure	25
4.4 Coolant level	27
4.5 Coolant leakage	27
4.6 Coolant purity	27
4.7 Coolant activity	27
5. Protection systems	27
6. Power supplies for instrumentation	29
6.1 General requirements	29
6.2 Guaranteed supply systems	29
7. Control facilities	31
7.1 General	31
7.2 Control room siting	31
7.3 Control room layout	31
7.4 Communications	35
8. General alarms	37

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'INSTRUMENTATION
DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I 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 cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Sous-Comité 45A, Instrumentation des réacteurs nucléaires, du Comité d'Etudes N° 45 de la C E I: Appareils électriques de mesure utilisés en relation avec les rayonnements ionisants.

Plusieurs projets furent discutés lors des réunions tenues à Brunswick en 1962, à Venise en 1963, à Paris en 1963 et à Genève en 1964. Le projet final fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1965.

A la suite d'observations essentielles formulées, il fut décidé, lors de la réunion tenue à New York en 1965, d'apporter au projet quelques modifications qui furent soumises à l'approbation des Comités nationaux selon la Procédure des Deux Mois en mai 1966.

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

Afrique du Sud	Italie
Allemagne	Japon
Australie	Pays-Bas
Belgique	Roumanie
Corée (République de)	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Finlande	Turquie
France	Yougoslavie
Israël	

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**GENERAL PRINCIPLES OF NUCLEAR REACTOR
INSTRUMENTATION**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I E C 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 this international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I E C recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This Recommendation has been prepared by Sub-Committee 45A, Reactor Instrumentation, of I E C Technical Committee No. 45, Electrical Measuring Instruments used in Connection with Ionizing Radiation.

Several drafts were discussed during meetings held in Braunschweig in 1962, in Venice in 1963, in Paris in 1963 and in Geneva in 1964. The final draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1965.

During the meeting held in New York in 1965, it was decided that some amendments should be included in the drafts. These amendments were submitted to the National Committees under the Two Months' Procedure in May 1966.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Netherlands
Belgium	Romania
Denmark	South Africa
Finland	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Israel	United Kingdom
Italy	United States of America
Japan	Yugoslavia
Korea (Republic of)	

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE L'INSTRUMENTATION DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES

1. Introduction

1.1 Généralités

Une instrumentation convenable, qui indique l'état d'un réacteur, est indispensable pour le faire fonctionner de manière sûre et efficace.

1.2 Domaine d'application

1.2.1 La présente recommandation sert de guide pour le choix de l'équipement instrumental d'un réacteur et recommande des règles de bon usage.

1.2.2 Cette recommandation est essentiellement d'application générale; certains aspects applicables seulement à des types particuliers de réacteurs sont contenus dans les annexes *).

1.2.3 Seuls les équipements ayant une influence directe sur la sécurité générale et l'efficacité du contrôle et de la commande du réacteur sont traités ici.

1.3 Caractéristiques générales

1.3.1 La responsabilité de la sécurité de fonctionnement d'un réacteur devrait être confiée à la direction de l'équipe de contrôle. Néanmoins, l'installation devrait rendre aisé un fonctionnement sûr dans toutes les circonstances plausibles durant la vie du réacteur.

1.3.2 L'instrumentation devrait être telle qu'elle permette à l'opérateur d'évaluer correctement l'état physique et le comportement de l'installation. Des signalisations convenables devraient être prévues pour indiquer les conditions anormales.

1.3.3 Le degré de protection demandé à l'instrumentation devrait être déterminé en considérant:

a) Les cas où l'action correcte de l'équipement de sécurité est nécessaire pour éviter des risques inacceptables pour la population en cas d'accident. La conception de l'équipement de sécurité devrait tenir compte alors des conséquences des pannes, et le degré de protection obtenu est déterminé par des considérations humaines, pratiques, économiques et autres.

b) Les cas où des risques inacceptables pour la population ne peuvent pas se produire, même lorsque l'équipement de sécurité tombe complètement en panne. Dans ce cas, la fonction de l'équipement de sécurité est de protéger l'installation contre des défauts qui, en son absence, endommageraient cette installation, et également de minimiser l'exposition aux radiations du personnel employé.

1.3.4 Si l'on se rappelle la diversité des accidents possibles, le comportement du cœur de plus en plus complexe à mesure qu'il est plus irradié, et les erreurs inconnues pouvant entacher le modèle mathématique utilisé pour évaluer les effets d'un accident, on est en droit de se demander si la détection, à l'aide d'un paramètre unique, peut garantir une protection suffisante. Dans ce cas, l'incident devrait être décelé par au moins deux paramètres indépendants, l'un d'eux étant, toutes les fois que c'est possible, une mesure directe du paramètre essentiel.

*) Ces annexes sont à l'étude.

GENERAL PRINCIPLES OF NUCLEAR REACTOR INSTRUMENTATION

1. Introduction

1.1 General

Proper instrumentation, which gives a knowledge of the state of the reactor, is vital for safe and efficient operation.

1.2 Scope

1.2.1 This Recommendation gives guidance on the provision of reactor instrumentation and recommends standards of good practice.

1.2.2 The main body of the Recommendation is of general application and aspects applicable only to particular types of reactors are included in Appendices *.

1.2.3 Items of instrumentation are included only where they have a direct bearing on the over-all safety and effective control of the reactor.

1.3 General requirements

1.3.1 The responsibility for safe operation of a reactor should be vested in the management chain of command. Nevertheless, the design should facilitate safe operation under all credible conditions throughout the life of the reactor.

1.3.2 The instrumentation should be such as to enable the operator to make an adequate assessment of the physical state and behaviour of the plant. Suitable warnings should be provided for indicating abnormal conditions.

1.3.3 The degree of protection demanded from instrumentation should be determined from the following considerations:

a) The situation where correct action of the safety system is required to avoid unacceptable hazard to the general public in case of accident. In this case, the safety system design should take into account the consequence of failure, and the degree of protection provided is determined by humanitarian, practical, economic and other considerations.

b) The situation where unacceptable hazards to the general public cannot arise even though the safety system fails completely. In this case, the function of the safety system is to protect the plant against faults which would otherwise damage it, and to minimize the radiation exposure of persons employed in the process.

1.3.4 Bearing in mind the diverse nature of possible incidents, the complex behaviour of the core as it becomes more irradiated, and the possible unknown errors in the mathematical model used to estimate the effect of the incident, there may be doubt as to whether detection by a single parameter can provide adequate protection. Whenever this is so, the incident should be sensed by at least two independent parameters, one of which should, wherever possible, be a direct measurement of the parameter of greatest concern.

*) These Appendices are under consideration.

- 1.3.5 L'équipement de contrôle et de commande et l'équipement de sécurité du réacteur devraient être aussi indépendants que possible, en ce sens qu'un défaut sur l'un ne devrait pas pouvoir entraîner d'intervention erronée de l'autre. En général, une action de sécurité devrait avoir la priorité sur une action de commande.
- a) La conception de l'équipement de sécurité du réacteur devrait être telle qu'aucune intervention pensable ou défaillance plausible, qu'aucun mauvais fonctionnement de l'équipement de contrôle et de commande ne puisse amener un ensemble de conditions tel que la protection cesse d'être assurée par l'équipement correspondant. On envisagera aussi toutes les combinaisons plausibles de défaillance pouvant survenir en cas de panne de l'équipement de contrôle et de commande.
- b) L'équipement de contrôle et de commande devrait être conçu de telle manière qu'aucune défaillance de l'équipement de sécurité ne puisse se traduire par une augmentation de réactivité, sur ordre émanant de l'équipement de contrôle et de commande. On envisagera également toutes les combinaisons plausibles de défaillances pouvant survenir en cas de panne de l'équipement de sécurité.
- 1.3.6 Lorsqu'un réacteur est appelé à fonctionner dans des conditions autres que normales (essais de recette, par exemple), les dispositions prévues pour assurer convenablement sa commande, son contrôle et sa sécurité doivent être prises.

2. Mesures du flux neutronique

2.1 Généralités

- 2.1.1 Les appareils de mesure du flux neutronique ont, par rapport à d'autres types d'appareils de mesure, l'avantage d'allier à une sensibilité convenable une assez grande rapidité de réponse.
- 2.1.2 La sécurité de fonctionnement d'un réacteur veut que le flux de neutrons (ou taux de fission) soit connu dans un très grand domaine de valeurs. Il est possible que, lors d'un défaut ou d'une erreur, la période du réacteur soit très brève tandis que le flux neutronique est encore faible. En cette circonstance, la puissance du réacteur pourrait alors augmenter si rapidement que, pour certains réacteurs, des valeurs dangereuses seraient atteintes avant qu'on ne puisse intervenir pour réduire le taux de fission. Des dispositions devraient être prises pour éviter l'apparition d'un danger de cette nature pour de tels réacteurs, autrement dit en mesurant la variation du flux neutronique en fonction du temps dans tout le domaine de puissance.
- 2.1.3 Lorsque l'on mesure le taux de fission, réacteur à l'arrêt, après une longue période de fonctionnement, on devrait tenir compte de l'influence de la décroissance des produits de fission sur ces mesures.
- 2.1.4 Lorsqu'aucun ensemble de mesure unique n'a été trouvé satisfaisant pour la mesure du flux neutronique d'un réacteur dans tout le domaine de flux possible, il est nécessaire d'avoir recours à plusieurs ensembles de mesure comportant chacun des types d'appareils différents, utilisés pour mesurer les niveaux de flux chacun dans leurs étendues de mesure respectives. On ne peut donner de description précise de ces ensembles, étant donné qu'ils changent plus ou moins d'un réacteur à l'autre.

2.2 Détecteurs de neutrons

- 2.2.1 La conception des détecteurs de neutrons utilisés pour le contrôle et la commande et faisant partie de l'instrumentation d'un réacteur est influencée par les impératifs de construction et d'utilisation ci-après, en particulier lorsqu'il s'agit de chambres d'ionisation pour mesures de haut flux:

- 1.3.5 The reactor control system and the reactor safety system should be as nearly independent as possible, in the sense that a fault in one should not lead to incorrect action of the other. In general, safety action should have priority over control action.
- a) The design of the reactor safety system should be such that no credible action or failure or malfunctioning of the reactor control system can lead to a situation in which protection is not provided by the reactor safety system. In considering failure of the control system, all credible combinations of failure should also be considered.
- b) The design of the control system should be such that no credible failure of the safety system can result in the increase of reactivity by the control system. In considering failure of the safety system, all credible combinations of failure should also be considered.
- 1.3.6 Where reactors have to be operated in conditions other than normal (for instance, commissioning), adequate safety and control arrangements shall still be preserved.

2. Neutron flux measurement

2.1 *General*

- 2.1.1 Neutron flux measuring instruments have an advantage over other types in that they can provide relatively rapid response with adequate sensitivity.
- 2.1.2 For the safe operation of the reactor it is required that the neutron flux (or fission rate) be known over a very large range. In fault conditions, it is possible for the reactor period to be very short whilst the neutron flux is still low. If this occurred, the reactor power might increase so rapidly that, in some reactors, dangerous levels would be reached before steps could be taken to reduce the fission rate. Provision should be made to avoid such a danger in such reactors, e.g. by measuring the time variation of the neutron flux over the complete operating range.
- 2.1.3 When the fission rate at shutdown is measured after the reactor has been operating for an appreciable time, account should be taken of the influence of fission product decay on these measurements.
- 2.1.4 Where no single measuring assembly is found to be satisfactory for measurement of neutron flux in a reactor over the whole range of possible fluxes, it is necessary to provide a number of measuring assemblies with different types of instruments used in each assembly according to their suitability for measuring the flux levels in the particular range of interest. These assemblies cannot be defined exactly and will vary to some extent from one reactor to another.

2.2 *Neutron detectors*

- 2.2.1 The design of neutron detectors for reactor control and instrumentation is influenced by the following demands of construction and usage, particularly in the case of ionization chambers used for high-flux measurement:

- a) Compte tenu des performances demandées aux détecteurs, leurs dimensions devraient être les plus faibles, ceci à la fois pour qu'on puisse les loger en nombre suffisant dans un réacteur de dimensions données et pour minimiser la perturbation du flux à mesurer.
- b) Pour garantir la précision la plus élevée et la rapidité de réponse maximale dans les mesures, les détecteurs seront placés dans une région de haut flux, ce qui peut aussi impliquer qu'ils seront soumis à des températures élevées. Les matériaux de structure devraient, par conséquent, s'accorder avec ces flux et ces températures élevés; ceci vaut en particulier pour les isolants, qui doivent conserver leurs qualités dans ces conditions.
- c) Les matériaux de structure devraient être encore choisis de façon à minimiser la radioactivité induite, car cette dernière perturberait les mesures neutroniques et accroîtrait les difficultés d'entretien.
- d) On devrait tenir compte aussi de l'effet d'une irradiation prolongée sur les matériaux actifs utilisés à l'intérieur du détecteur, ceci afin de ne pas diminuer les performances de ce dernier.

2.2.2 Les détecteurs de neutrons seront installés de manière à recevoir un flux de neutrons thermiques variant proportionnellement au taux de fission existant à l'intérieur du réacteur. Leur emplacement serait choisi de manière à minimiser les variations du rapport entre la puissance du réacteur et la valeur mesurée du flux neutronique, pour tous les ajustements de réactivité que l'on peut s'attendre à trouver lorsque la puissance du réacteur varie dans tout son domaine. Les positions respectives des détecteurs devraient être telles, que le retrait de l'un quelconque d'entre eux ne modifie pas les indications des autres de plus d'un facteur acceptable. Lorsqu'on détermine le nombre de détecteurs de neutrons nécessaires à assurer une protection adéquate du réacteur, on devrait tenir compte de l'effet de distorsion spatiale du flux.

On peut aussi envisager de prévoir des détecteurs de rechange, à moins que le remplacement ne soit aisé et ne rende cette précaution inutile.

2.2.3 Pour obtenir un signal de sortie compatible avec les spécifications de l'instrumentation, il peut être quelquefois nécessaire de trouver le moyen de modifier la position du détecteur (ou d'un absorbant de neutrons adéquat). Cependant, cette modification de la position du détecteur devrait être limitée, afin d'éviter l'influence d'effets secondaires indésirables (tels que les photo-neutrons, par exemple). En outre, le réglage de position sera quelquefois nécessaire pour des détecteurs de faibles flux de neutrons, de manière à obtenir une durée de vie acceptable. On prévoit parfois un dispositif pour extraire ces détecteurs lorsqu'ils ne sont pas utilisés, et pour les placer dans une région de faible flux; dans ce cas, il faudra disposer de moyens appropriés pour les réintroduire pendant l'arrêt de la pile. La position des détecteurs mobiles devrait être connue et reproductible. L'amplitude du déplacement et la vitesse de réglage devraient être choisies de manière à éviter tout risque éventuel, tel que celui qui pourrait se présenter lorsque le détecteur est utilisé en liaison avec l'équipement de commande automatique du réacteur.

2.2.4 Les ensembles qui mesurent de faibles flux de neutrons devraient être pourvus de moyens permettant de réduire de façon adéquate l'effet du rayonnement gamma. Lorsque l'on veut mesurer de très faibles flux de neutrons, il est conseillé de ne pas tolérer une contribution de plus de 20% du flux gamma sur le signal total.

2.3 Sources de neutrons

Lorsqu'un réacteur est à l'arrêt, le flux de neutrons peut tomber à un niveau si bas qu'il échappe à toutes les mesures, à moins qu'on utilise une source de neutrons. Pour être certain d'obtenir un signal valable avant que le réacteur ne parvienne à l'état critique, on devrait régler la position de la source de telle manière que 95% au moins des neutrons détectés soient des neutrons de fission, lorsque le réacteur est sous-critique d'environ 1%.

- a) Consistent with the required performance, dimensions would normally need to be the minimum, both in order to accommodate a sufficient number of detectors in a particular size of reactor, and in order to minimize the disturbance of the flux being measured.
- b) Detectors will normally require to be placed in a high-flux region to provide maximum accuracy and rate of response in measurement, which may also imply that the detector is subject to high temperatures. Constructional materials should, therefore, be compatible with such flux levels and temperatures, with particular regard to the maintenance of performance of insulators in such conditions.
- c) Constructional materials should also be selected in order to minimize induced radio-activity, since the latter will both interfere with neutron measurement and increase the difficulty of maintenance.
- d) Consideration should also be given to the effect of prolonged irradiation, on active materials used within the detector, so as to avoid loss of performance.

2.2.2 Neutron detectors require to be installed so as to have access to a thermal neutron flux which has a proportional relationship to the rate of fission in the reactor. The installation should be such as to minimize changes in the ratio of reactor power output to neutron flux measurement for all reactivity adjustments that can be expected over the full operating range of the reactor. The relative positioning of the detectors should be such that removal of any detector will not change the output of the others by more than an acceptable factor. In considering the number of neutron detectors to be provided for adequate protection of the reactor, consideration should be given to the effects of spatial flux distortion.

Consideration may also be given to the provision of space detectors, unless easy replacement makes this unnecessary.

2.2.3 In order to obtain an output signal adequate for the instrumentation requirements, it may be necessary to provide a means of altering the position of the detector (or of a suitable neutron absorber). The adjustment of the detector position should, however, be limited so as to avoid an undesirable level of extraneous effects (for example, the pick-up of photo-neutrons). In addition, a positional adjustment will sometimes be necessary in the case of the low flux level detectors, in order to obtain an acceptable detector life. An arrangement is sometimes made to withdraw such detectors to a region of low flux when they are not in use, and the re-insertion of such detectors during shutdown shall be assured by appropriate means. The position of movable detectors should be known and be capable of being reproduced. The amount of movement and speed of adjustment should be chosen so as to avoid possible hazard; e.g. such as might arise when the detector is used in conjunction with the reactor automatic control equipment.

2.2.4 For measurement at low neutron flux levels, the measuring assemblies should be provided with means to obtain an adequate reduction of the effect of gamma rays. In those cases where knowledge of very low neutron flux conditions is desirable, it is recommended that the proportion of the total signal arising from gamma flux does not exceed 20%.

2.3 *Neutron sources*

When a reactor is shut down, the flux may fall to a level at which it cannot be adequately monitored unless a neutron source is used. In order to ensure that a meaningful signal is obtained, before the reactor becomes critical, the position of the source should be such that at least 95% of the neutrons detected will be due to fission when the reactor is about 1% sub-critical.

2.4 Instrumentation de mesure du flux neutronique

2.4.1 Généralités

2.4.1.1 L'instrumentation de mesure du flux neutronique a généralement trois fonctions:

- a) la sécurité;
- b) les mesures et les signalisations;
- c) la commande automatique.

Cette instrumentation peut être scindée en trois parties:

- a) ensemble de mesure linéaire à courant;
- b) ensemble de mesure logarithmique à courant;
- c) ensemble de mesure à impulsions.

2.4.1.2 Etant donné que le flux neutronique doit être mesuré dans un grand domaine de valeurs, on emploie généralement des ensembles à plusieurs étendues de mesure. Autrement, on peut utiliser certains modèles d'ensembles à étendues de mesure réglables, ou bien on peut régler les positions des détecteurs pour couvrir tout le domaine de mesure du flux neutronique. Quelle que soit la solution adoptée, on devrait veiller à ce que le passage d'une étendue à l'autre ou le réglage d'une étendue de mesure ne diminue d'aucune façon la protection du réacteur. On devrait prendre soin également d'assurer une protection adéquate du réacteur lorsque le flux approche de la valeur de saturation de l'un quelconque des ensembles de mesure ou du point à partir duquel le flux neutronique du réacteur cesse d'être proportionnel au signal délivré par le détecteur. Lorsque l'on passe d'une étendue de mesure opérationnelle à une autre, ces étendues devraient se recouvrir d'une puissance de dix au moins.

2.4.1.3 Les appareils indicateurs de flux devraient être conçus de manière à faciliter le repérage de ceux d'entre eux qui donnent des valeurs exploitables, c'est-à-dire à l'intérieur de leur domaine de mesure opérationnel: ceci est utile, que les indicateurs soient sur place ou à distance.

2.4.2 Ensembles de mesure linéaire à courant

Trois types d'ensembles sont communément utilisés:

- a) ensemble de protection contre les dépassements de flux;
- b) ensemble de mesure linéaire de la puissance;
- c) ensemble de mesure des écarts de puissance.

L'entrée devrait, dans chaque cas, être alimentée par un ou plusieurs détecteurs de neutrons placés à l'intérieur ou au voisinage du réacteur, de telle sorte que le niveau de flux soit proportionnel à la puissance; le facteur de proportionnalité devrait être, autant que possible, indépendant de la position des barres de contrôle et de tous effets similaires.

a) *L'ensemble de protection contre les dépassements de flux* transmet ses informations au circuit de sécurité, de manière à provoquer l'arrêt de la pile dès que la puissance dépasse un niveau prédéterminé.

Cet ensemble ne devrait fournir un signal de sortie « sûr », que lorsque le signal de puissance est inférieur au niveau affiché. Toutes les autres conditions, y compris les défaillances de l'ensemble ou du signal correspondant au niveau prédéterminé, devraient produire un signal de sortie « déclenchement ».

Il est nécessaire qu'un signal de sortie « déclenchement » soit obtenu dès qu'une condition réelle de déclenchement existe. Aussi les ensembles devraient être conçus, fabriqués et vérifiés de façon à garantir que le nombre de déclenchements intempestifs ne dépasse pas un maximum admissible.

2.4 *Instrumentation for neutron flux measurements*

2.4.1 *General*

2.4.1.1 The neutron flux instrumentation has generally three functions:

- a) safety;
- b) measuring and indicating;
- c) automatic control.

The instrumentation for neutron flux measurements can be divided into three parts:

- a) linear current measuring assembly;
- b) logarithmic current measuring assembly;
- c) pulse counting assembly.

2.4.1.2 Since the neutron flux has to be measured over a very large range, multi-range assemblies are generally used; alternatively certain types of assembly with adjustable range may be used, or the detector positions may be so adjusted as to cover the entire range of neutron flux. Whichever alternative is adopted, care should be taken that change-over or adjustment of range does not cause any diminution in reactor protection. Provision should also be made to ensure adequate protection of the reactor when the flux approaches saturation value of any assembly or the point at which the neutron flux in the reactor is no longer proportional to the detector output. In cases where change-over has to be made from one operational range to the other, the ranges should overlap by at least one decade.

2.4.1.3 Flux indicators should be so designed as to facilitate identification of those indicators which are valid, i.e. within their operational ranges, and it is useful if both local and remote indicators are so designed.

2.4.2 *Linear current measuring assemblies*

Three types of assembly are commonly used:

- a) excess flux protection assembly;
- b) linear power measuring assembly;
- c) power deviation measuring assembly.

In each case the input should be derived from one or more neutron-sensitive detector, situated in or adjacent to the reactor, so that the flux level perceived is proportional to reactor power; the factor of proportionality should be, as far as possible, independent of control rod position and similar effects.

- a) *The excess flux protection assembly* supplies information to the safety circuit, so as to cause the reactor to shut down as the power rises above a pre-determined level.

The assembly should provide a “safe” output only when power signal is less than the reference setting. All other conditions, including failure of the assembly or reference signal, should produce a “trip” output.

It is necessary that a “trip” output is obtained whenever a genuine trip condition exists, and the assemblies should be so designed, manufactured and tested to ensure that the number of spurious trips does not exceed the maximum permitted.

- b) *L'ensemble de mesure linéaire de la puissance* est utilisé pour mesurer la puissance du réacteur et l'indiquer sur une échelle linéaire.

A tout le moins, un tel ensemble devrait être alimenté par une source de fiabilité suffisante pour lui permettre de continuer à indiquer la puissance du réacteur pendant une coupure du réseau électrique ou toute autre circonstance imprévue.

L'ensemble devrait avoir une étendue de mesure atteignant au moins 120 % de la pleine puissance, et, en cas de besoin, des étendues de mesure additionnelles commutables pourraient être prévues. La commutation des étendues devrait apparaître clairement. La précision de la mesure du courant du détecteur devrait être d'au moins $\pm 1\%$ de la déviation totale pour toutes les étendues de mesure, lorsque cette déviation totale est égale à 10 % de la puissance escomptée ou plus grande.

- c) *L'ensemble de mesure des écarts de puissance ou ensemble linéaire complémentaire* est utilisé pour mesurer et afficher les variations de puissance par rapport à un niveau de puissance prédéterminé.

2.4.3 *Ensemble de mesure logarithmique à courant*

- 2.4.3.1 A réactivité constante, la montée en puissance est exponentielle; cependant, si le signal issu du détecteur est envoyé dans un amplificateur logarithmique de mesure de la puissance, le signal de sortie indiquera une augmentation linéaire dont la pente donnera la mesure de la période du réacteur.

L'utilisation de ces deux caractéristiques peut être faite dans des amplificateurs logarithmiques de mesure de puissance et dans des périodemètres devant fournir sans commutation la valeur de la puissance et de la période dans un domaine d'au moins six puissances de dix de la puissance du réacteur. La limite supérieure du domaine choisi pour ces mesures devrait atteindre au moins 110 % et, de préférence, 120 % de la pleine puissance. La limite inférieure du domaine de mesure devrait correspondre au niveau de puissance auquel le courant dû au flux gamma et aux autres parasites ne dépasse pas 20 % du courant neutronique. Mais, dans certains cas, le déclenchement du circuit de seuil de période peut se produire pour des événements à période courte survenant à des niveaux plus faibles que la limite inférieure considérée. L'erreur faite sur la mesure du courant, en négligeant l'effet des transitoires, devrait être comprise entre $\pm 20\%$ de la valeur lue dans la plus grande partie du domaine de mesure. La pleine déviation du périodemètre devrait s'étendre au-delà de la valeur choisie pour les déclenchements. L'erreur sur l'indication de période, en négligeant l'effet des transitoires, devrait être inférieure à $\pm 10\%$ de la valeur lue.

- 2.4.3.2 Le rôle du déclenchement de période est d'assurer la protection dans les cas où le déclenchement de puissance n'est pas en mesure de le faire.

Le déclenchement de période devrait être aussi rapide que raisonnable eu égard à la vitesse de variation du flux en cas d'incidents et au temps de réponse des dispositifs provoquant l'arrêt du réacteur. Si le déclenchement de période est essentiel à la sécurité d'un réacteur particulier, le temps de réponse de l'ensemble devra satisfaire aux exigences de la sécurité.

La valeur efficace du niveau de bruit à la sortie du périodemètre devrait, pour une valeur quelconque de la puissance, être aussi faible que le permettent les conditions imposées à l'ensemble et, en particulier, la rapidité de réponse.

2.4.4 *Ensembles de mesure à impulsions*

- 2.4.4.1 Ces ensembles peuvent être linéaires ou logarithmiques. Les recommandations générales établies pour les ensembles à courant (paragraphes 2.4.2 et 2.4.3) devraient être appliquées ici, sauf en ce qui concerne les détecteurs.

Les détecteurs sensibles aux neutrons, associés à des discriminateurs d'amplitude d'impulsions, ont une faible sensibilité au rayonnement gamma et possèdent des avantages certains par rapport

- b) *The linear power measuring assembly* is used to measure and display on a linear scale the reactor power.

At least one such assembly should be operable from a power source of such reliability that it will continue to indicate the reactor power during an electrical power outage or other emergency.

The assembly should have a range up to at least 120% of full power, and, where required, additional switched ranges may be provided. The range switching should be clearly indicated. The accuracy for detector current measurement should be no poorer than $\pm 1\%$ of full scale indication for all ranges where full scale indication is 10% of rated power or greater.

- c) *The power deviation measuring assembly or backed-off linear assembly* is used to measure and display the power variation about a pre-set datum power level.

2.4.3 *Logarithmic current measuring assembly*

- 2.4.3.1 At constant reactivity, the rise of power is exponential; therefore, if the signal from the detector is fed to a logarithmic power amplifier, the output will rise linearly and the slope will be a measure of reactor period.

Use can be made of these two features in logarithmic power amplifiers and period meters to provide an indication of power level and period over at least six decades of power without range switching. The upper range limit of such indications should extend to at least 110% and preferably 120% of full power. The lower limit of indication should be taken as the power level at which gamma and other spurious currents are not greater than 20% of the neutron current, but, in some cases, the period trip can be effective for short-period accidents at levels below this lower limit. The error of current indication, neglecting transient effects, should be within $\pm 20\%$ of the reading over the major portion of the range. The full scale deflection of the period meter should extend beyond the nominal trip setting range. The error of the period indication neglecting transient effects should not be greater than $\pm 10\%$ of reading.

- 2.4.3.2 The purpose of the period trip is to provide protection in situations where power level trip cannot provide protection.

The response of the period trip should be as fast as is reasonable, considering the speeds of incidents and the time response of the shutdown devices. If the period protection is essential to the safety of a particular reactor, then the response time of the assembly shall meet the safety requirements.

The root mean square noise level in the output of the period meter at any power level should be as low as possible consistent with the requirements of the assembly and particularly the speed of response.

2.4.4 *Pulse counting assemblies*

- 2.4.4.1 These assemblies may be either linear or logarithmic; the general recommendations made for the current assemblies (Sub-clauses 2.4.2 and 2.4.3), should be applied except in so far as they relate to the detectors.

Neutron sensitive detectors associated with pulse height discriminators have a low sensitivity to gamma radiation, and possess obvious advantages over mean current ion chambers for low flux

aux chambres d'ionisation à courant, qui servent à mesurer les bas niveaux de flux. Il faudrait cependant prendre soin de s'assurer qu'une faible variation de gain de l'ensemble ou de la tension de polarisation du détecteur ne se traduise pas par une forte variation de la puissance indiquée.

2.4.4.2 Le taux de comptage obtenu à l'arrêt total du réacteur devrait montrer que l'ensemble fonctionne correctement, c'est-à-dire que le comptage n'est pas occasionné surtout par l'effet combiné des interactions gamma parasites avec le détecteur, des interférences électriques extérieures ou du bruit dans le circuit de mesure. En général, ce résultat est obtenu assez facilement pour des taux de comptage de 10 à 20 coups par seconde. Cependant, en considérant les effets ci-dessus, des valeurs de taux de comptage, inférieures à 2 coups par seconde lorsque le réacteur est totalement arrêté et supérieures à 10 coups par seconde lorsque k_{eff} (coefficient de multiplication effectif) est d'environ 0,99, sont fréquemment mesurées. Lorsque des taux de comptage inférieurs à 2 coups par seconde sont rencontrés, l'emploi des techniques d'approche sous-critique est recommandée. Pour de faibles puissances, la précision statistique de mesure est faible; en conséquence, l'ensemble de comptage des impulsions doit alors avoir une grande constante de temps. Si une signalisation ou un déclenchement à minimum de coups par seconde est prévu, le taux de comptage à l'arrêt du réacteur devrait être tel que l'on ne puisse pas obtenir des signalisations ou des déclenchements intempestifs et fréquents. Les réglages des seuils de signalisation ou de déclenchement devraient cependant permettre d'éviter d'inacceptables retards dans leur fonctionnement.

2.4.4.3 Il peut être nécessaire d'éloigner les détecteurs à impulsions pour neutrons ou d'ajouter un blindage, afin de les préserver de tout dégât dû aux radiations lorsque la montée en puissance du réacteur atteint des valeurs dépassant le domaine de fonctionnement de l'ensemble de comptage d'impulsions; les détecteurs devraient de préférence être éloignés jusqu'à des emplacements où le flux neutronique environnant est assez faible pour permettre de vérifier les ensembles lorsque le réacteur fonctionne à plein régime.

2.5 *Déclenchements à niveau et à taux de variation de flux*

2.5.1 Il est souvent souhaitable de déclencher une signalisation par un ensemble de mesures à un niveau tout juste au-dessous de celui du signal commandant l'arrêt du réacteur. Une telle signalisation est dénommée « alerte ». De même, pour attirer l'attention de l'opérateur sur le fait que l'écart entre le niveau de flux mesuré par l'ensemble et celui auquel un signal de déclenchement devrait apparaître est devenu trop grand, une signalisation « bas niveau » peut aussi être prévue.

Une signalisation « bas niveau » peut, par exemple, se produire si l'opérateur néglige de régler le déclenchement à niveau de flux après une réduction volontaire de la puissance et du débit du fluide de refroidissement.

2.5.2 Des signalisations ou des déclenchements, suivant le cas, devraient être provoqués par tous les ensembles de mesure, pour informer des variations des tensions de polarisation hors des limites acceptables. Tout devrait être mis en œuvre pour surveiller la continuité des circuits de l'ensemble complet, depuis la source de tension de polarisation jusqu'à la sortie de l'appareil de mesure.

2.5.3 Un amplificateur logarithmique de mesure de la puissance peut devoir comporter un déclenchement à niveau de flux; ce déclenchement devrait être réglable dans le domaine de mesure tout entier, par une commande visible préalablement étalonnée; il est souhaitable aussi de prévoir un signal d'avertissement lorsqu'on approche du niveau de déclenchement.

2.5.4 L'ensemble de comptage d'impulsions devrait être muni de deux déclenchements, l'un à haut et l'autre à bas niveau. Le rôle du déclenchement à bas niveau est de montrer que l'ensemble n'est pas en état de fonctionnement normal. Le déclenchement à haut niveau ne devra pas pouvoir être réglé à un taux de comptage si élevé qu'il en résulte une perte trop grande du nombre d'impulsions comptées.

2.5.5 Les déclenchements de période devraient pouvoir intervenir à n'importe quelle valeur de période positive comprise entre la déviation correspondant à l'extrémité de l'échelle (période minimale)

level measurements. Care should be taken to ensure that a small change in gain of the assembly or in the polarizing voltage, does not change the indicated power significantly.

2.4.4.2 The count rate obtained in the shutdown state should demonstrate that the assembly is operating satisfactorily, i.e. that the count is not primarily due to the combined effect of spurious gamma interactions with the detector, external electrical interference, or noise in the measuring circuit. In general, this is relatively easy to demonstrate for count rates of 10-20 counts per second. However, paying due regard to the above effects, values of count rate down to 2 counts per second when fully shutdown, and greater than 10 counts per second when k_{eff} (the effective multiplication constant) is about 0.99 are frequently used. Where lower count rates than 2 counts per second are experienced, the use of "critical approach" experimental techniques is assumed.

At low power levels, the statistical accuracy of measurement is poor and consequently the pulse counting assembly requires a long time constant when operating at these levels. If a low count alarm or trip is fitted, the count rate at shutdown should also be such that frequent spurious alarms or trips are not obtained. The alarm or trip settings should, however, be such as to avoid unacceptable delays in initiation.

2.4.4.3 It may be necessary to retract the neutron pulse detectors or to add shielding to avoid radiation damage to them when the reactor power has risen above the range covered by the pulse counting assembly; the detectors should preferably be retracted to a position at which the surrounding neutron flux level is low enough to allow the assemblies to be tested while the reactor is at full power.

2.5 *Flux level and flux rate trips*

2.5.1 It is often desirable to initiate an alarm from a measurement assembly at a level just prior to the one at which a reactor trip signal would be initiated. Such an alarm is termed a "low margin" alarm. Also, in order to draw the operator's attention to the fact that the margin between the flux level perceived by the assembly and the flux level at which a trip would be initiated has become excessive, an "excess margin" alarm may also be provided.

An excess trip margin may arise, for example, if an operator neglects to adjust the flux level trip after a programmed reduction in power and coolant flow.

2.5.2 Alarms or trips, as appropriate, should be provided on all assemblies against the variation of the polarizing potential outside acceptable limits. Every effort should be made to monitor the continuity of the complete assembly from the polarizing supply to the output of the measuring instrument.

2.5.3 A flux level trip may be required from the logarithmic power amplifier; this trip should be adjustable over the complete range by means of a visible control which has been pre-calibrated. It is also desirable to provide a warning of approach to this trip level.

2.5.4 The pulse counting assembly should have both a high and low-count trip. The low-count trip is to demonstrate that the assembly is not in an operational condition. High-count trips shall not be able to be set for a count rate so high that a substantial number of counts are lost.

2.5.5 Period safety trips should be capable of operation at any value of positive period between one-tenth of full scale (minimum period) deflection up to full scale of this deflection. A negative

et le 1/10 de celle-ci. Un déclenchement de période intervenant pour des valeurs négatives est quelquefois nécessaire. Il peut s'avérer en outre nécessaire de prévoir un seuil d'avertissement pour prévenir que l'on approche du déclenchement de période. Lorsque des périodemètres sont utilisés dans les ensembles de comptage d'impulsions, on peut prévoir un déclenchement de période, mais on devrait noter que son fonctionnement cesse d'être sûr en dehors des limites supérieure et inférieure du domaine de comptage.

- 2.5.6 Si le mouvement du détecteur est possible, des signaux parasites de période peuvent apparaître. On devrait prendre soin de s'assurer que de tels signaux ne conduisent pas à l'arrêt intempestif du réacteur ou à une condition de fonctionnement non sûre.
- 2.5.7 Lorsque le seuil de déclenchement doit être réglé par l'opérateur du réacteur conformément aux conditions de fonctionnement et que la différence entre la grandeur à mesurer et le niveau de déclenchement (c'est-à-dire la marge de déclenchement) ne doit pas dépasser une limite donnée, une signalisation peut être prévue pour avertir l'opérateur de cette anomalie (signalisation de marge excessive de déclenchement). Une marge excessive de déclenchement peut se produire, par exemple, si le déclenchement à niveau de flux n'est pas réglé à nouveau après une réduction programmée de la puissance et du débit du fluide de refroidissement.
- 2.5.8 Lorsqu'il est impératif de faire travailler un appareil dans l'étendue de mesure convenable, le choix de l'étendue de mesure devrait être assuré par un dispositif de conception adéquate.

2.6 *Étalonnage et vérification des ensembles de mesure du flux neutronique*

- 2.6.1 S'il était nécessaire d'indiquer la puissance thermique au moyen d'appareils de mesure du flux neutronique, ces ensembles devraient être étalonnés dans le réacteur fonctionnant à pleine puissance, au moyen de mesures de bilan thermique. Comme le rapport entre la puissance et le flux neutronique dans un réacteur risque de varier, à l'emplacement du détecteur, avec la distribution du flux, l'étalonnage devrait être effectué lorsque l'empoisonnement xénon a atteint son état d'équilibre.

Les étendues de mesure des appareils devraient se recouvrir suffisamment pour permettre l'étalonnage aux basses puissances, par rapport aux mesures faites aux hautes puissances.

- 2.6.2 Dans un ensemble de mesure, on devrait pouvoir remplacer les sous-ensembles et éléments fonctionnels par des appareils de rechange, sans pour autant perturber l'étalonnage de l'ensemble. On devrait noter particulièrement les variations éventuelles de sensibilité d'un détecteur de neutrons à l'autre, pour une tension de polarisation donnée.
- 2.6.3 Pour faciliter les vérifications *in situ*, il est conseillé d'incorporer chaque fois que possible, dès la construction, des dispositifs de vérification dans tous les éléments fonctionnels. Les appareils devraient être prévus de façon à permettre que des vérifications soient effectuées sur l'ensemble de mesure complet.

2.7 *Mesure de la distribution du flux*

En plus de la mesure du flux de neutrons thermiques en dehors du caisson sous pression du réacteur, il est parfois nécessaire de connaître les distributions radiales et axiales du flux dans tout le cœur. Il faudrait prévoir, dans ce cas, des moyens appropriés de mesure, afin de permettre le maintien de la distribution de flux choisie.

3. **Mesures de température**

3.1 *Conditions générales*

- 3.1.1 Les mesures de température dans un réacteur nucléaire se font en grande partie selon des méthodes conventionnelles, lorsqu'il s'agit d'optimiser ses performances, son contrôle, sa commande et

period safety trip is sometimes required. It may be necessary to provide a second period warning against the approach to the period trip. Where period meters are used in the pulse counting assembly, a period trip can be provided, but it should be noted that the behaviour of such a device becomes unreliable near both the upper and the lower end of the pulse counting range.

- 2.5.6 If movement of the detector is possible, spurious period signals may arise. Care should be taken to ensure that such signals do not lead to either a spurious shut-down or to an unsafe condition.
- 2.5.7 Where the trip level must be adjusted by the reactor operator in accordance with operating conditions, and the difference between the parameter and the trip level (i.e. the trip margin) must not be allowed to exceed a given limit, an alarm may be provided to warn the operator of this condition (excess trip margin alarm). An excess trip margin may arise, for example, if the flux level trip is not re-adjusted after a programmed reduction in power and coolant flow.
- 2.5.8 Where operation of an instrument on the correct range is essential, the selection of range should be assured by appropriate design.

2.6 *Calibration and testing of neutron flux measuring assemblies*

- 2.6.1 If it is necessary to indicate thermal power by means of neutron flux measuring instruments, these assemblies should be calibrated at full power against heat balance measurements. Since the ratio between reactor power and neutron flux at the detector may vary with changes in flux distribution in the reactor, the calibration should be performed when the xenon poisoning has also reached equilibrium.

Instrument ranges should have sufficient overlap to allow the low power ranges to be calibrated against the high power ranges.

- 2.6.2 Sub-assemblies and basic function units in a measuring assembly should be capable of being replaced by spare instruments without disturbing the calibration of the assembly. Special note should be made of the possible variations in pulse sensitivity between neutron detectors for a given polarizing supply voltage.
- 2.6.3 To facilitate *in situ* testing, it is recommended that built-in performance test facilities should be incorporated in all units wherever practical. The instruments should be so designed that tests may be made on the complete measuring assembly.

2.7 *Measurement of flux distribution*

In addition to the measurement of thermal neutron flux outside the pressure vessel, it is sometimes necessary to know the axial and radial flux distribution throughout the reactor core. Where this is so, appropriate means of measurement should be provided to enable the pre-determined flux pattern to be maintained.

3. **Temperature measurement**

3.1 *General considerations*

- 3.1.1 Measurement of temperature in a nuclear reactor is performed largely by conventional methods for the purpose of performance optimization, control and safety. It is necessary, however, to

sa sécurité. Il est, toutefois, nécessaire de compléter ces méthodes conventionnelles par des recommandations ayant pour objet des problèmes propres aux réacteurs nucléaires. Ces recommandations tiennent compte, en particulier, des modifications physiques et chimiques produites par l'irradiation des matériaux qui constituent les appareils de mesure.

- 3.1.2 Le nombre de points de relevés de température devrait être suffisant pour permettre un contrôle efficace du réacteur, même si un nombre raisonnable et prévisible de défaillances devait survenir sur les détecteurs de mesure de température pendant la durée de vie du réacteur.

Lorsqu'il s'agit de détecteurs de mesure de température qui ne peuvent être remplacés, il faudrait prévoir un nombre suffisant de détecteurs de rechange incorporés dès la construction du réacteur.

3.2 *Effet de l'irradiation sur la précision des mesures de température*

L'irradiation des matériaux dans un réacteur est à l'origine de différents effets dont l'ampleur dépend de la nature du rayonnement incident, de son intensité et des propriétés des matériaux irradiés. L'attention est plus particulièrement attirée sur les éventualités suivantes :

- a) échauffement indésirable d'origine nucléaire des matériaux constituant le détecteur;
- b) modification de la résistance électrique des conducteurs et des isolants;
- c) création d'inhomogénéités dans la structure physique;
- d) transmutation des éléments chimiques et des alliages.

3.3 *Mesure de la température du combustible*

Lorsque la température du combustible représente un paramètre critique, les moyens de la déterminer devraient être valables aussi bien en régime normal, c'est-à-dire lorsque la température ne dépasse pas une valeur prédéterminée, qu'en régime anormal, autrement dit lorsque la température du combustible risque de dépasser les valeurs de sécurité et, par suite, exige une vitesse de réponse adéquate du déclenchement de l'équipement de protection. Les spécifications des caractéristiques de l'instrumentation destinée à mesurer des valeurs anormales tiendront compte des étendues de variation de température convenables.

Il conviendrait de prendre en considération les gradients de température du combustible, les variations statistiques de la température dans le cœur du réacteur et le nombre de points de mesure de température exigés sur le combustible.

Il n'est parfois pas possible de mesurer directement les températures critiques du combustible. Dans ce cas, on doit les déduire des indications fournies par des capteurs situés à proximité, compte tenu des gradients de température et des transferts thermiques résultant du régime de fonctionnement de l'installation.

3.4 *Mesure de la température du modérateur*

Dans certains réacteurs, il faut mesurer la température du modérateur pour établir son comportement physique ou nucléaire.

3.5 *Mesure de la température du fluide de refroidissement*

3.5.1 *Généralités*

Dans certains réacteurs, il est indispensable de mesurer la température moyenne du fluide de refroidissement à l'entrée et à la sortie du réacteur ainsi qu'à la sortie des canaux, en vue d'un contrôle et/ou d'une protection satisfaisante de ce réacteur. Le retard entre l'indication d'une température et sa valeur réelle devrait être compatible avec les erreurs admissibles pendant les régimes transitoires.

supplement conventional standards by recommendations dealing with problems peculiar to nuclear reactors. In particular, consideration has been given to the effect of the physical and chemical changes caused by irradiation of the materials of which the measuring devices are made.

- 3.1.2 The number of points at which temperature measurements are made should be sufficient to allow effective control of the reactor to be retained if a reasonably foreseeable number of temperature detector failures should occur throughout its life.

Where temperature measuring devices are irreplaceable, a sufficient number of built-in spares should be provided.

3.2 *Effect of irradiation on accuracy of temperature measurement*

The irradiation of materials in a reactor produces various effects whose magnitude depends on the type of radiation, the radiation level and the properties of the irradiated materials. In particular, attention is drawn to the following possibilities:

- a) introduction of unwanted nuclear heating of the detector materials;
- b) alteration of the electrical resistance of conductors and insulators;
- c) creation of inhomogeneities in physical structure;
- d) transmutation of chemical elements and alloys.

3.3 *Measurement of fuel temperature*

If fuel temperature is a critical parameter, the means of determining this should be suitable for both normal operating conditions, i.e. those in which the temperature does not exceed a pre-determined level, and abnormal conditions, i.e. those in which fuel temperatures may exceed safe values and so necessitate adequate speed of response to initiate the protection system. In assessing the instrumentation requirements for the measurement of abnormal conditions, the relevant temperature ranges must be considered.

Consideration should be given to temperature gradients in fuel, statistical variations of temperature through the reactor core and the number of fuel temperature measurements required.

It is sometimes not possible to measure critical fuel temperatures directly, and such temperatures must, in this case, be deduced from indication of nearby sensors, with due regard to thermal gradients and heat transfer as affected by plant operation.

3.4 *Measurement of moderator temperature*

For some reactors, it is necessary to measure the moderator temperature to establish its physical or nuclear behaviour.

3.5 *Measurement of coolant temperature*

3.5.1 *General*

For some reactors, measurements of the bulk coolant temperature at the reactor inlet and outlet and also of the channel coolant outlet temperature are required in order to achieve satisfactory reactor control or protection, or both. The time-lag between indicated temperature and actual temperature should be consistent with acceptable measurement errors introduced during transients.

3.5.2 *Température du fluide de refroidissement à l'entrée et à la sortie du réacteur*

Si les valeurs des températures d'entrée et de sortie du fluide de refroidissement sont exigées pour la protection, celles-ci devront être envoyées dans les circuits de sécurité du réacteur pour mettre en action les mécanismes de signalisation et de déclenchement appropriés, dans l'éventualité d'une montée en température anormale. Ces mesures peuvent conduire à l'établissement d'une protection complémentaire des déclenchements prévus en cas de dépassement de la température des éléments combustibles. Lorsqu'un écoulement stratifié du fluide de refroidissement peut se produire, le choix des points de mesure en position et en nombre devrait être soigneusement étudié si l'on désire calculer une température moyenne représentative du réfrigérant.

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

Les mesures de température du fluide de refroidissement à la sortie des canaux fourniront des renseignements qui rendront plus aisée la détermination de la distribution radiale des températures dans le réacteur et qui faciliteront le contrôle de tous les modes d'instabilités auxquels le réacteur peut être sujet.

3.6 *Mesure des températures jugées d'importance vitale pour la sécurité du réacteur*

Lorsque la sécurité du réacteur exige des déclenchements de niveau de température, ils devraient fonctionner à partir des valeurs relevées en des points choisis, et les signaux ne devraient servir que dans ce but, à moins que leur interaction avec d'autres circuits puisse être éliminée dans une large mesure. Pour chaque action correctrice, plusieurs points de mesure indépendants sont exigés pour réaliser un montage à coïncidences d'une redondance acceptable. Quant aux actions correctrices, déclenchées par les températures des éléments combustibles, les mesures devraient être effectuées sur des éléments séparés, afin d'éviter des mesures multiples sur le même élément combustible, ce qui nécessiterait une construction spéciale. Les détecteurs devraient être disposés de manière telle que, dans les conditions de répartition de température les plus défavorables, la protection du réacteur ne soit pas réduite.

Un étalonnage de l'appareillage de mesure s'impose dans l'étendue des températures en régime normal. Lorsqu'on utilise des contacts mobiles pour connecter des détecteurs de mesure de température destinés à assurer des déclenchements, ils devraient être réalisés de manière à n'introduire aucune f.e.m. parasite dans des conditions de température variable ou stationnaire.

3.7 *Ensemble de protection contre les dépassements de température*

L'ensemble de protection contre les dépassements de température devrait se conformer aux conditions requises pour l'équipement de protection.

On devrait attacher une importance particulière aux caractéristiques de sécurité intrinsèque, de haute fiabilité, et aux précautions à prendre contre tout mauvais fonctionnement pouvant entraîner l'apparition de conditions potentiellement dangereuses.

3.8 *Affichage des températures*

La présentation des mesures de températures d'un réacteur nucléaire peut mériter une attention particulière, étant donné le besoin où se trouve l'opérateur de connaître sans délai le grand nombre de relevés nécessaires.

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

4.1 *Considérations générales*

Lorsqu'un fluide de refroidissement est nécessaire à la sécurité du réacteur, un équipement de protection convenable devra être installé de manière à provoquer une action correctrice en cas d'anomalie de débit ou de pression. Par conséquent, il faut effectuer des mesures directes ou indirectes de pression et de débit dans le circuit de refroidissement.

3.5.2 *Reactor inlet and outlet coolant temperature*

If indications of coolant inlet and outlet temperatures are used and required for protection, they shall be fed into the reactor safety circuits to initiate appropriate alarm and trip mechanisms in the event of abnormal temperature conditions arising. Such measurements may constitute back-up protection to the fuel element excess temperature trips. Where stratification of coolant flow may occur, the determination of sensors position and number should be carefully established if it is desired to calculate a temperature which is representative of the mean temperature of the coolant.

3.5.3 *Channel coolant outlet temperature*

The measurement of channel coolant outlet temperature will provide information which will assist the assessment of the radial temperature distribution across the reactor and will facilitate the control of all modes of instability to which the reactor may be subject.

3.6 *Measurement of temperatures which are considered to be vital for reactor safety*

When temperature level trips are required for reactor safety, they should be derived from measurements at selected points, and the signals used solely for this purpose unless interaction can be substantially eliminated. For each trip, a number of independent measurements are required so as to operate an acceptably redundant coincidence-connected system. When considering fuel element temperature trips, measurements should be made on separate elements, thus avoiding multiple measurements on a single fuel element, which would necessitate a special design. The sensors should be so disposed that under the worst conditions of temperature distortion the reactor protection is not prejudiced.

A calibration of the measuring device is required within the range of the normal operating temperature. If movable contacts are used in connecting trip temperature detectors, the design should be such that no significant spurious thermocouple e.m.f. is introduced due to these contacts under steady state and dynamic temperature conditions.

3.7 *Temperature protection assembly*

The excess temperature protection assembly should comply with the requirements of the protection system.

Particular attention should be paid to requirements of fail-safe characteristics, high reliability and prevention of malfunction, leading to potentially hazardous conditions.

3.8 *Presentation of temperatures*

Nuclear reactors may require special consideration in the presentation of temperature measurements on account of the large number of measurements required and the need for rapid assessment by the operator.

4. **Coolant measurements**

4.1 *General considerations*

Where a coolant flow is required for reactor safety, a suitable protection equipment shall be installed such that any unsafe pressure or flow conditions will cause corrective action to be initiated. It is thus necessary to provide means for either direct measurement or inference of the pressure and flow in the coolant circuit.

4.2 *Débit du fluide de refroidissement*

4.2.1 *Généralités*

La valeur du débit de chaque circuit de refroidissement devrait être affichée dans la salle de contrôle et de commande, à un emplacement où ces indications peuvent être lues facilement et rapidement par l'opérateur, lorsqu'il ajuste les organes de réglage du débit.

La méthode choisie pour effectuer les mesures de débit devrait être la plus directe possible et donner la valeur exacte dans tout le domaine de fonctionnement. Les mesures devraient être effectuées en des points choisis de telle sorte qu'on puisse connaître les variations de débit dues à la fois aux variations de la vitesse de pompage et aux mouvements de vannes.

Une importante modification du débit peut faire apparaître des conditions contraires à la sécurité; toutes défaillances des dispositifs tels que vannes et pompes, capables de provoquer des changements importants du débit, devraient donc déclencher des signalisations ou des actions correctrices. Tout manque de tension d'alimentation de l'un quelconque de ces dispositifs devrait, aussi, déclencher des signalisations analogues.

La réduction de puissance du réacteur, au cas où le débit du fluide de refroidissement varie dans des conditions contraires à la sécurité, devrait être commandée directement par l'équipement de sécurité. Les mesures qu'implique cette intervention devraient être combinées avec une redondance convenable, de sorte que, si le débit tombe au-dessous de la valeur admissible en fonctionnement normal, l'arrêt automatique du réacteur soit déclenché par l'équipement de sécurité.

4.2.2 *Conditions imposées à l'équipement de protection*

Tout équipement de protection contre des défauts de débit devrait être tel que le fonctionnement du réacteur puisse se poursuivre à puissance réduite lorsqu'on isole, pour entretien, des circuits individuels de transfert de chaleur. Le temps de réponse des ensembles de mesure serait choisi pour garantir une sécurité adéquate.

Aucune partie de l'installation de détection, qui se trouve à l'intérieur des conduites du fluide de refroidissement, ne devrait gêner d'éventuels travaux d'inspection sur les dites conduites; de tels appareils devraient être solidement fixés et devraient être construits en un matériau compatible avec les ensembles d'éléments combustibles et le fluide de refroidissement.

4.3 *Pression du fluide de refroidissement*

4.3.1 *Généralités*

Il est nécessaire d'assurer à la fois un débit convenable du fluide de refroidissement en toutes conditions, et de maintenir sa pression à la valeur prévue, et ce, à toutes les puissances. Les fuites du circuit pressurisé peuvent varier d'un suintement minime jusqu'à un écoulement important provoqué par une rupture du circuit de refroidissement. Pour ces raisons, on mesurera obligatoirement la pression du fluide de refroidissement et, éventuellement, son taux de variation.

Des mesures supplémentaires différentielles de pression peuvent être parfois nécessaires aux points d'étanchéité, à titre de vérification, et de part et d'autre des vannes d'isolement du circuit de refroidissement, de sorte que les conditions correctes d'écoulement du fluide de refroidissement puissent être établies avant mise en route d'un autre circuit. L'utilité de ces mesures sera dictée par la conception de l'installation et, en particulier, par les caractéristiques des pompes de circulation du fluide de refroidissement, des soufflantes, etc.

4.3.2 *Dispositions de construction*

Si l'on se propose d'utiliser le fluide de refroidissement pour transmettre une information au-delà des limites du circuit sous pression, les mesures ne devraient, en aucun cas, être gênées par les

4.2. *Coolant flow*

4.2.1 *General*

An indication of the mass flow in each coolant circuit should be presented in the control room at a place where this indication may be readily and easily seen by the operator when adjusting the appropriate flow controls.

The selected method of obtaining the flow measurement should be the most direct possible and should give reliable indication of flow over the whole operating range. The measurement should be made in such a position that it will measure flow variation due to both pump speed variation and valve movement.

If the flow rate is significantly modified, unsafe flow conditions may occur; alarms or corrective actions should therefore be initiated by failure of any device such as a valve, pump or circulator, capable of modifying the flow rate significantly. Loss of power to any such device should also initiate a similar signal.

The means of reducing reactor power in the event of unsafe flow conditions should be initiated directly from the reactor safety system, and these measurements should be combined in a suitable redundant combination so that when the flow loss exceeds that operationally permissible, automatic shutdown is initiated by the safety system.

4.2.2 *System requirements*

Any system of flow-failure protection should enable operation of the reactor to continue at reduced power when individual heat transfer circuits are isolated for maintenance. The time response of measuring assemblies should be adequate for protection.

Any part of the detection installation which projects into the coolant ducts should not interfere with any inspection work which may be required on the duct, should be securely fixed, and should be constructed of materials compatible with the fuel element can and the coolant.

4.3 *Coolant pressure*

4.3.1 *General*

It is necessary both to ensure an adequate mass flow of coolant under all conditions and to maintain the coolant pressure at the design figure at all power levels. Leakage from the pressure circuit may vary from a minor leakage to a large escape following a major rupture of the coolant circuit. For these reasons, coolant pressure shall, and rates of change of pressure may, be measured.

Supplementary differential pressure measurement may be required at sealing points, as a check on their integrity, and across isolating valves in the coolant circuit, so that the correct coolant flow conditions may be properly established prior to bringing a fresh coolant circuit on line. This requirement will depend upon the design of the plant and in particular upon the characteristics of the coolant circulator, pumps, blowers, etc.

4.3.2 *Constructional features*

If it is proposed to use the coolant as a means of transmitting a signal beyond the confines of the pressure circuit, measurements should in no circumstances be prejudiced by the presence of

particules solides contenues dans le fluide de refroidissement et, si des filtres sont prévus, ceux-ci ne devraient pas gêner les mesures, même s'ils sont colmatés. On devrait prévoir aussi des filtres de secours en réserve, ou bien on devrait tenir compte, pour l'étalonnage, de la diminution de pression due au filtre en question.

La section de passage de tous les éléments utilisés dans les circuits de mesure devrait être aussi grande que possible, eu égard à la précision et aux règles de l'art; il est en outre nécessaire que toutes les conduites constituant le circuit de refroidissement soient constituées d'un matériau approprié, l'acier inoxydable étant indiqué dans la plupart des cas.

On devrait utiliser une transmission pneumatique ou électrique pour éviter le passage de conduites sous pression dans la salle de contrôle et de commande ou dans d'autres zones vitales.

4.4 *Niveau du fluide de refroidissement*

Pour les réacteurs à fluide de refroidissement liquide, on devrait prévoir des appareils qui permettraient de maintenir le niveau du fluide de refroidissement entre des limites spécifiées, et par là, assurer une bonne circulation dans le cœur du réacteur et empêcher la cavitation dans les pompes.

Pour les réacteurs utilisant l'eau comme écran contre les radiations, les appareils devraient permettre de vérifier qu'un niveau d'eau convenable est maintenu et que les éléments combustibles restent entièrement immergés.

4.5 *Fuites du fluide de refroidissement*

En raison de la toxicité possible et de la radioactivité des fuites du fluide de refroidissement, et comme premier indice d'autres anomalies, on devrait enregistrer continuellement le débit du fluide de refroidissement pour permettre la mise en évidence des fuites.

Une signalisation devrait être déclenchée lorsque ce débit dépasse une valeur admissible.

4.6 *Pureté du fluide de refroidissement*

Dans certains réacteurs, des mesures du degré de pureté du fluide de refroidissement s'imposent, si l'on veut connaître l'importance des réactions chimiques entre le fluide de refroidissement et les autres constituants du réacteur.

L'analyse du fluide de refroidissement primaire ou, dans certains cas, du fluide de refroidissement ou de la vapeur secondaire, peut fournir aussi une indication de fuite entre le circuit de refroidissement primaire et un circuit secondaire.

4.7 *Activité du fluide de refroidissement*

Les mesures de l'activité du fluide de refroidissement peuvent servir à plusieurs fins, par exemple:

- 4.7.1 A établir la quantité d'activité libérée pendant une perte intentionnelle ou accidentelle de fluide de refroidissement.
- 4.7.2 A détecter et localiser des éléments combustibles avariés.
- 4.7.3 A vérifier le fonctionnement correct du circuit de purification du fluide de refroidissement.

5. **Equipements de protection**

A l'étude.

solid matter in the coolant, and, if filters be provided, they should not prejudice the measurement even if clogged. Standby filters should also be provided, or allowance should be made during calibration for subsequent filter pressure drop.

The bore of any components employed in the measuring circuits should be as large as is consistent with accuracy and good practice, and it is necessary that any pipework introduced into the coolant circuit be of a suitable material, stainless steel being acceptable in most cases.

Pneumatic or electric transmission system should be used to obviate the need to bring pressure pipes into the control room or other vital areas.

4.4 *Coolant level*

In liquid-cooled reactors, coolant level instrumentation should be provided to help keep the level within specified limits in order to ensure adequate circulation through the core and to prevent cavitation occurring in the circulator pumps.

In reactors where water is used as a radiation shield, instrumentation should be provided to ensure that an adequate level is maintained and that the fuel elements remain shielded.

4.5 *Coolant leakage*

Because of the possible toxic and radio-active nature of escaped coolants, and as a first indication of other forms of abnormality, the rate of coolant make-up should be continuously recorded as a check on coolant leakage.

Provision should be made for a warning to be given when this rate exceeds a permissible level.

4.6 *Coolant purity*

In some reactors, coolant purity measurements are necessary to establish the state of chemical reactions between coolant and the remainder of the reactor.

Analysis of the primary coolant or, in some cases, of the secondary steam or coolant, can also give an indication of leakage between the primary and a secondary circuits.

4.7 *Coolant activity*

Coolant activity measurements may be used for different purposes, such as:

- 4.7.1 Helping to establish the amount of activity released during any intentional or accidental release of coolant.
- 4.7.2 Detection and location of defective fuel elements.
- 4.7.3 Checking the operational effectiveness of the coolant purification circuit.

5. **Protection systems**

Under consideration.

6. Alimentation des appareils

6.1 Caractéristiques générales

6.1.1 Pour garantir la sécurité du contrôle et de la commande du réacteur, il est essentiel de rendre sûres les alimentations de tous les appareils en relation avec les circuits de protection et l'équipement d'avertissement, ainsi qu'avec l'installation des auxiliaires essentiels.

6.1.2 Les paramètres les plus importants du réacteur devraient être mesurés en permanence, ce qui suppose une instrumentation disponible à tout moment et fonctionnant dans les limites de précision spécifiées. Il peut donc être nécessaire de prévoir un ou plusieurs équipements d'alimentations secourues.

6.2 Alimentations secourues

6.2.1 Alimentations électriques

6.2.1.1 Pour les appareils fonctionnant en courant continu, une alimentation avec batterie en tampon sera la plus fiable. A l'heure actuelle, l'instrumentation électronique utilise surtout du courant alternatif, aussi devrait-on prévoir un équipement d'alimentation alternative fiable.

6.2.1.2 Pour l'élaboration d'un tel équipement, on devrait tenir compte des points suivants:

- a) Aucune alimentation unique n'offre de garanties de fiabilité suffisante. Même si l'on peut prévoir un groupe spécial moteur-alternateur, toutes tentatives de le rendre fiable se traduiront inévitablement par des complications supplémentaires risquant de jouer à l'encontre de l'avantage recherché.
- b) Des équipements multiples peuvent être employés, fonctionnant soit par commutation de l'un à l'autre, soit par inversion de fonction des machines, mais les perturbations transitoires qui peuvent apparaître durant ces commutations ne devraient pas diminuer la sécurité, ni perturber en aucune façon le fonctionnement du réacteur.
- c) Les possibilités de l'équipement de secours devraient être compatibles avec la charge exigée par l'instrumentation.
- d) Les groupes moteurs-générateurs utilisés pour alimenter en alternatif les moteurs de déroulement des enregistreurs devraient être contrôlés en fréquence, de telle sorte que l'erreur sur l'échelle de temps soit maintenue dans des limites acceptables.
- e) Les alimentations des appareils essentiels d'enregistrement et d'avertissement devraient être maintenues à tout moment dans des conditions permettant à l'opérateur d'apprécier la gravité de toutes les conditions défectueuses, même en cas d'arrêt du réacteur.

6.2.2 Alimentations pneumatiques

6.2.2.1 Lorsque les alimentations pneumatiques sont essentielles pour la sécurité du réacteur (par exemple, détecteurs à déplacer, instruments à actionner), l'équipement d'alimentation devrait satisfaire aux conditions énumérées au paragraphe 6.2.1 si nécessaire, et en outre aux suivantes:

- a) il devrait entraîner le déclenchement d'une signalisation lors de toute chute de pression notable et il devra mettre en route une action correctrice convenable à la suite de tout fonctionnement défectueux de nature à mettre en danger la sécurité du réacteur;
- b) la disposition des conduites, compresseurs, récepteurs pneumatiques et de tout l'équipement associé devrait être telle que, si l'un ou l'autre de ces éléments venait à se rompre, aucun dommage susceptible de mettre le réacteur en danger ne serait causé à tout autre équipement;
- c) les alimentations pneumatiques devraient être propres et sèches, c'est-à-dire que leur point de rosée serait assez bas pour éviter toute condensation de vapeur aux températures ambiantes les plus basses.

6. Power supplies for instrumentation

6.1 General requirements

- 6.1.1. In order to achieve safe control of the reactor, it is essential to maintain services to all reactor instrumentation connected to the protection circuits, services to the reactor warning system and to that instrumentation which relates to essential auxiliary plant.
- 6.1.2 The prevailing reactor conditions should be continuously monitored, and this implies that certain instrumentation should be available at all times and should operate within the specified limits of accuracy. It may, therefore, be necessary to provide a guaranteed supply system or systems.

6.2 Guaranteed supply systems

6.2.1 Electrical supplies

6.2.1.1 Where instruments are d.c. operated, a battery-backed d.c. supply will prove the most reliable. At the present time, a.c. is the predominant supply requirement for electronic instrumentation and consequently a reliable a.c. supply system should be provided.

6.2.1.2 In designing such a system, account should be taken of the following:

- a) No single supply is considered to be sufficiently reliable. Even though provision may be made in the form of a special motor-alternator set, efforts to make the system reliable will inevitably result in some additional complexity which will tend to defeat the fundamental requirement.
- b) Multiple systems may be employed with either change-over contactors or machine duty reversal, but the transient disturbance which may ensue during change-over should not prejudice the safety or otherwise disturb the operation of the reactor.
- c) The capacity of the standby system should be such that the instrument load can be maintained.
- d) Motor-generator sets which are used to supply a.c. chart drives should be frequency controlled in order to maintain timing within acceptable limits.
- e) Supplies to essential recording and warning instruments should be maintained at all times, so that the operator may make an appraisal of any fault conditions, even though the reactor may have shut down.

6.2.2 Pneumatic supplies

6.2.2.1 Where pneumatic supplies are essential for reactor safety (e.g. detector assembly movement, instrument operation) the supply system should satisfy the requirement of Sub-clause 6.2.1 where appropriate, and in addition:

- a) it should initiate an alarm on the occurrence of any significant drop in pressure and shall initiate suitable corrective action on any malfunction severe enough to jeopardize the safety of the reactor;
- b) the layout of its pipework, compressors, receivers and any associated equipment should be such that, in the event of their fracture, no damage which may endanger the reactor will be caused to any other equipment;
- c) the pneumatic supplies should be clean and dry, i.e. have a dewpoint low enough to prevent any condensation of vapour at the lowest prevailing temperatures.

7. Moyens de contrôle et de commande

7.1 Généralités

La coordination des moyens destinés au contrôle et à la commande du réacteur et des installations annexes s'impose pour obtenir un fonctionnement efficace et sûr. Une salle de contrôle et de commande principale pour assumer cette fonction est fortement recommandée.

L'emplacement de cette salle principale de contrôle et de commande et son aménagement devraient être choisis en fonction du mode normal de conduite de l'installation et des interventions ou des procédures nécessaires pour répondre à tout risque majeur ou mineur raisonnablement prévisible ou pouvant survenir avec quelque probabilité pendant la vie du réacteur. Dans les questions considérées, devraient entrer aussi le nombre, les fonctions et la qualification du personnel normalement attaché à la surveillance de l'installation, ainsi que les moyens de communications nécessaires à la coordination de leurs activités.

7.2 Implantation de la salle de contrôle et de commande

7.2.1 Emplacement par rapport aux installations

La salle principale de contrôle et de commande devrait être située de façon à ne pas être vulnérable en cas de dégâts, ni intenable dans l'éventualité d'un accident grave. Toutefois, depuis cette salle, on devrait avoir facilement accès, dans la mesure du possible, aux réacteurs et installations annexes, y compris l'équipement auxiliaire de secours.

7.2.2 Facteurs ambiants

Les emplacements de la salle de contrôle et de commande ainsi que des annexes comportant les équipements qui s'y rapportent devraient, autant que possible, satisfaire aux conditions générales suivantes:

- a) être calmes et exempts de vibrations;
- b) être convenablement chauffés, ventilés ou munis de conditionnement d'air, une importance particulière étant apportée au bon fonctionnement des installations nécessaires pour obtenir ces conditions lorsque les locaux abritent des appareils dont les performances varient avec la température ambiante.

7.3 Aménagement de la salle de contrôle et de commande

7.3.1 Personnel et méthode de fonctionnement

7.3.1.1 On devrait tenir compte du nombre de personnes nécessaires pour contrôler et conduire le réacteur et les installations annexes, aussi bien dans les conditions normales qu'en cas d'accident. Ce critère dépendra, dans une certaine mesure, du degré d'automatisation des procédés utilisés pour le contrôle, la commande et l'observation de l'état de l'installation. La salle de contrôle et de commande devrait être toutefois aménagée de façon à grouper, à la portée de la surveillance et du contrôle direct des opérateurs, toutes les parties de l'installation dont le fonctionnement peut avoir des répercussions importantes sur l'état du réacteur, ainsi que tous les équipements auxiliaires requis pour maintenir la sécurité du réacteur en cas d'urgence.

7.3.1.2 Dans les grandes installations nucléaires, une partie des commandes et des appareils associés au réacteur sont disposés localement pour faciliter une conduite efficace, mais ceux des matériels, essentiels pour la sécurité des réacteurs, devraient pouvoir être commandés en double à partir de la salle principale de commande et de contrôle. De même, dans les grandes installations, on devrait faciliter la surveillance globale de tous les autres équipements intéressant la marche normale du réacteur, pour permettre à l'opérateur de prendre toutes les mesures préventives nécessaires, comme de coordonner en cas de besoin les fonctions globales de l'installation.

7. Control facilities

7.1 General

Co-ordination of the facilities for controlling the reactors and associated plant is necessary in order to promote safe, efficient operation, and the provision of a central control room to perform this function is strongly recommended.

The location of the central control room and the layout of the facilities provided should take account of the normal method of operating the plant and of the actions and procedures necessary in combating any major or minor hazards which could credibly be postulated as likely to arise during the life of the reactor. In these considerations, account should be taken of the number, function and status of personnel normally attending the plant and of the means of communications necessary to co-ordinate their activities.

7.2 Control room siting

7.2.1 Position relative to items of plant

The central control room should be sited so as not to be vulnerable to damage nor made untenable in the event of major accidents. Nevertheless, as far as possible, it should have ready access to the reactors and associated plant, including emergency auxiliary equipment.

7.2.2 Environmental factors

The location of the control room and related equipment annexes should, whenever possible, fulfil the following general requirements:

- a) be quiet and free from vibration;
- b) be adequately heated, ventilated, or air-conditioned, particular attention being given to the reliability of installations necessary to obtain these conditions in rooms housing instruments whose performance varies with changes in room temperature.

7.3 Control room layout

7.3.1 Staffing and method of operation

7.3.1.1 Consideration should be given to the number of staff required for controlling the reactor and associated plant, both under normal and emergency conditions. This factor will, to some extent, reflect the degree of automation of the procedures for controlling and observing the state of the plant. The control room should, however, be arranged to include, under direct supervision and control of the operators, all items of plant having a significant effect on the state of the reactors, together with all auxiliary plant necessary to maintain the safety of the reactor under conditions of emergency.

7.3.1.2 In large nuclear installations, some measure of local control and instrumentation of plant associated with the reactor is required to facilitate efficient operation, but these should be capable of being over-ridden by duplicate controls and instrumentation in the main control room for those plant items whose proper functioning affects the safety of the reactors. Similarly, in large installations, facilities should be available for the over-all supervision of other equipment affecting the operational state of the reactor to enable an operator to take precautionary action should this become necessary, and also, where required, to enable him to co-ordinate the over-all functions of the installation.

7.3.2 *Disposition des pupitres et des panneaux de contrôle et de commande*

7.3.2.1 Les organes d'information, de contrôle et de commande installés dans la salle de contrôle et de commande peuvent être répartis en trois catégories :

- a) ceux qui doivent être réunis sur le pupitre de contrôle et de commande, pour se trouver immédiatement sous les yeux et à portée de la main de l'opérateur qui les observera continuellement;
- b) ceux qui devraient pouvoir être facilement consultés depuis le pupitre de contrôle et de commande du réacteur;
- c) ceux que l'on n'a pas besoin de voir à partir du pupitre de contrôle et de commande, mais qui devraient être facilement accessibles pour examen.

7.3.2.2 On devrait simplifier dans la mesure du possible les équipements cités au paragraphe 7.3.2.1, alinéas a) et b), et tenir éloignés du pupitre les équipements complexes qui demandent une maintenance régulière. Sur le pupitre, il est souhaitable d'utiliser de simples indicateurs plutôt que des enregistreurs, sauf si l'on doit connaître, en vue d'un contrôle immédiat, l'évolution de la quantité mesurée.

7.3.2.3 Dans les grandes installations, les équipements tels que les amplificateurs et les relais, associés aux appareils et aux organes de contrôle et de commande énumérés au paragraphe 7.3.2.1, alinéas a), b) et c) devraient être, autant que possible, installés dans une salle séparée mais contiguë, lorsqu'il n'est pas nécessaire d'y accéder ordinairement pour la commande et le contrôle. On devrait accéder normalement à cette salle uniquement par la salle de contrôle et de commande.

7.3.3 *Groupement des appareils et des organes de contrôle et de commande*

7.3.3.1 L'instrumentation indiquant l'état des paramètres importants du réacteur devrait être bien en vue et clairement disposée pour que l'opérateur puisse de préférence contrôler et commander l'installation à partir d'un nombre minimal d'indications. Celles-ci devraient être groupées en fonction des moyens de contrôle et de commande utilisés en régime normal.

7.3.3.2 Les organes de contrôle et de commande essentiels, utilisés en régime normal, devraient être groupés sur le pupitre. La surveillance de tous les circuits de contrôle et de commande automatiques, y compris des dispositifs manuels prioritaires, se ferait depuis ce pupitre.

7.3.3.3 Normalement, l'opérateur devrait pouvoir contrôler les conditions de fonctionnement du réacteur sans quitter le pupitre de contrôle et de commande. Cependant, dans les grandes installations, des moyens supplémentaires sont prévus pour, à la fois, afficher des informations et pour inhiber des moyens locaux de contrôle et de commande de l'installation. Ces moyens de contrôle et de commande comprennent ceux des auxiliaires essentiels à la sécurité du réacteur en cas d'urgence, commandes manuelles ou automatiques selon la nature du risque. Ces affichages et ces commandes devraient être groupés de façon telle, qu'en cas d'accident grave, l'opérateur puisse déterminer rapidement les caractéristiques du réacteur qui peuvent le plus probablement être influencées et aussi les conditions de fonctionnement des installations auxiliaires essentielles; de plus, cette disposition devrait faciliter la correction rapide de légers défauts, en vue de maintenir en fonctionnement l'installation.

7.3.3.4 Les appareils mentionnés au paragraphe 7.3.2.1, alinéa b), peuvent être montés sur des panneaux verticaux disposés en arc de cercle, le pupitre de contrôle et de commande se trouvant près du centre géométrique. Les organes et les indicateurs devraient y être disposés en ordre logique et groupés en fonction des parties de l'installation auxquelles ils sont reliés (par exemple, tous les appareils et tous les organes intéressant un échangeur de chaleur donné devraient être réunis sur un même panneau).

7.3.2 *Layout of control and instrument desks (and boards)*

7.3.2.1 The information and controls required in the control room may be divided into three groups:

- a) those which have to be arranged on the reactor control and instrument desk so that they fall immediately under the eye and hand of the operator, who will give them continuous attention;
- b) those which should be available for easy reference from the reactor control and instrument desk;
- c) those which should be readily accessible for inspection but which need not be visible from the control and instrument desk.

7.3.2.2 Every effort should be made to simplify equipment in the categories quoted in Sub-clause 7.3.2.1, items a) and b), and to keep complex equipment likely to require regular maintenance away from the control and instrument desk. The use on the desk of simple indicators rather than recorders is desirable, except where the trend of the measured quantity is required for immediate control purposes.

7.3.2.3 In large installations, equipment such as amplifiers and relays associated with the instruments and controls in the categories quoted in Sub-clause 7.3.2.1, items a), b) and c), should, where possible, be mounted in a separate but adjacent equipment room, where normal access for control purposes is not required. Normal access to this room should be through the control room only.

7.3.3 *Grouping of instrument and controls*

7.3.3.1 Instrumentation indicating the state of important reactor parameters should be prominently and clearly displayed, preferably in such a way that the operator may control the plant from a minimum number of indications. These indications should be grouped in relation to related controls used during normal operations.

7.3.3.2 The essential controls used in normal operations should be at the control and instrument desk. The supervision of all automatic control loops should be from the control and instrument desk, including manual override facilities.

7.3.3.3 The operator should normally be able to control the reactor conditions without leaving the control and instrument desk. However, in large installations, additional facilities are provided which both present information and enable override control of local plant items to be effected. These include controls for auxiliary plant essential to reactor safety during emergency conditions, which may be either manual or automatic in operation according to the nature of the hazard. The grouping and layout of these controls and indications should be such that in a major emergency the operator can readily determine the state of reactor parameters likely to be affected and the operational state of essential auxiliary plant; additionally, the layout should facilitate rapid correction of minor faults with a view to maintaining the plant in operation.

7.3.3.4 The instruments mentioned in Sub-clause 7.3.2.1, item b), may be accommodated on vertical panels arranged in an arc, with the control and instrument desk near the geometrical centre. The controls and indicators should be arranged in logical order and grouped in relation to items of plant (e.g. all instruments and controls relating to one heat exchanger should be on one panel).

- 7.3.3.5 Les voyants devraient être disposés suivant leur importance et nettement visibles depuis le pupitre de contrôle et de commande. Les appareils indicateurs devraient pouvoir être lus avec une précision raisonnable depuis le pupitre, et la taille de leur cadran ne devrait pas être inférieure à un quarantième de la distance séparant l'indicateur de l'opérateur assis devant le pupitre.
- 7.3.3.6 Des recommandations particulières, intéressant les autres organes d'information, de contrôle et de commande couvrent les moyens d'enregistrement, surtout ceux concernant l'étude et l'analyse des relevés ainsi que les appareils munis de répéteurs indiqués au paragraphe 7.3.2.1, alinéa b).
- 7.3.3.7 Ces matériels peuvent être montés séparément mais à proximité du tableau de contrôle et de commande principal.

7.3.4 *Groupement des signalisations*

- 7.3.4.1 Les signalisations transmises à la salle de contrôle et de commande devraient être limitées au nombre strictement nécessaire. Cependant, des signalisations particulières devraient être prévues pour tous les cas d'urgence exigeant une action correctrice depuis la salle de contrôle, et ces conditions devraient être affichées à proximité du tableau de contrôle et de commande approprié. Pour tous les cas d'urgence n'exigeant pas de correction depuis la salle de contrôle et de commande, des signalisations devraient fonctionner dans le local de l'installation intéressée, mais une signalisation de groupe serait transmise dans la salle de contrôle et de commande.
- 7.3.4.2 Les signalisations associées aux circuits de sécurité devraient être groupées suivant leur importance et clairement disposées pour permettre une appréciation rapide de l'état de ces circuits et des moyens de les inhiber.
- 7.3.4.3 Lorsque l'on dispose d'un équipement de traitement des informations, les signalisations devraient être situées dans la salle de commande et de contrôle, et la sortie des informations installée dans une salle contiguë.

7.4 *Communications*

- 7.4.1 Les conséquences possibles d'une défaillance des réseaux de communications d'une installation nucléaire de puissance sont plus graves que dans la plupart des autres secteurs de l'industrie, c'est pourquoi les spécifications concernant les équipements de communications doivent être considérablement plus rigoureuses. La pratique a montré que certains équipements téléphoniques existant dans le commerce ne sont pas assez sûrs. On énumère donc ci-après un certain nombre de points, auxquels on devrait apporter une attention particulière, afin de garantir un degré de fiabilité convenable.
- 7.4.2 Les équipements de communications devraient comprendre:
 - 7.4.2.1 Une installation de téléphone automatique pour les communications intérieures normales.
 - 7.4.2.2 Un central manuel auxiliaire pour assurer les communications depuis la salle de contrôle et de commande vers un certain nombre (minimal) de points stratégiques en cas d'accident ou dans l'éventualité d'une avarie de l'alimentation du réseau automatique principal.
 - 7.4.2.3 Quelques appareils téléphoniques pouvant être reliés directement au réseau national, sans passer par le central automatique de l'installation.
- 7.4.3 En outre, un réseau de diffusion d'alerte, la possibilité de localiser le personnel préposé à la conduite, ainsi que des équipements d'avertissement d'incendie et d'évacuation du site, sont nécessaires.

- 7.3.3.5 Visual indicators should be prominently displayed and clearly visible from the control and instrument desk. Indicating instruments should be designed to be read with reasonable accuracy from the desk, and the dial diameter should be not less than one-fortieth of the distance of the indicator from the operator when seated at the desk.
- 7.3.3.6 Typical requirements for the remaining information and controls include instruments producing chart records required mainly for record and analytical purposes and may include instruments with associated repeaters providing the indications listed in Sub-clause 7.3.2.1, item b).
- 7.3.3.7 These items may be arranged in a separate space, but should then be adjacent to the main control and instrument board.

7.3.4 *Grouping of alarms*

- 7.3.4.1 The number of alarms operating into the control room should be restricted to the necessary minimum. However, individual alarms should be provided for all emergency conditions requiring corrective action from the control room and these should be displayed in the vicinity of the appropriate control and instrument board. For all emergency conditions not requiring corrective action from the control room, alarms should operate locally at the affected plant with a single group alarm into the control room.
- 7.3.4.2 The grouping and layout of alarms associated with the safety circuits should be prominently displayed to promote rapid appreciation of the state of the circuits and of the operational state of by-pass facilities.
- 7.3.4.3 Where data handling equipment is supplied, the alarm indication should be located in the control room and the logging output should be in an adjacent room.

7.4 *Communications*

- 7.4.1 The possible consequence of failure of the communication services are more serious in nuclear power plant than in most commercial fields and the specification for the communications equipment must, therefore, be considerably more stringent. It has been found in practice that some of the telephone exchanges commercially available are not sufficiently reliable and a number of points are therefore listed below to which particular attention should be paid in order to ensure that adequate reliability is achieved.
- 7.4.2 The communication facilities to be provided should comprise:
 - 7.4.2.1 An automatic telephone exchange for normal communications within the plant.
 - 7.4.2.2 An auxiliary manual system to maintain, in an emergency or in the event of failure of the supply to the main automatic exchange, communications from the control room to a (minimum) number of strategic operating points.
 - 7.4.2.3 A small number of telephones giving direct access to the national system without the intermediary of the plant automatic exchange.
- 7.4.3 In addition to the above, an alarm annunciator system, facilities for the location of operational staff, a fire warning system and a site emergency alarm system are necessary.

- 7.4.4 Le central téléphonique manuel devra prévoir, en premier lieu, des lignes partant en étoile de la salle de commande et de contrôle, uniquement vers les points de fonctionnement les plus névralgiques. Il devrait permettre aussi les inter-communications entre les postes, avec surveillance du trafic et possibilités de conversations générales.
- 7.4.5 Le projet de central manuel devrait tenir compte des considérations suivantes:
 - 7.4.5.1 Les communications de service essentielles devraient pouvoir être assurées par son intermédiaire en cas de défaillance ou de saturation du central automatique.
 - 7.4.5.2 Son alimentation devrait être indépendante, autant que possible, de la batterie alimentant l'installation principale de télécommunications; ainsi, en cas de défaillance de cette batterie, toutes les communications ne seront pas impossibles.
 - 7.4.5.3 Il est souhaitable de prévoir la possibilité d'appeler un poste même si le combiné est décroché.
 - 7.4.5.4 Le câblage de l'équipement manuel devrait être indépendant de celui de l'équipement automatique.
- 7.4.6 En plus des possibilités ci-dessus, il y aurait lieu d'installer un nombre limité d'appareils téléphoniques auto-générateurs. Le câblage de ce réseau devrait être indépendant de celui ou de ceux des autres équipements.
- 7.4.7 La salle de contrôle et de commande devrait comporter, sur les deux réseaux téléphoniques, manuel et automatique, un nombre convenable de lignes dont une au moins serait réservée aux appels d'urgence.

8. Signalisations

A l'étude.

- 7.4.4 It is anticipated that the manual telephone system will provide communications from the control room to selected and main operating points only, primarily on a radial basis. It should also permit interconnection between extensions, with supervision, and should provide conference facilities.
- 7.4.5 In the design of the manual system consideration should be given to the following points:
 - 7.4.5.1 It should provide adequate essential operational communications in the event of failure of, or congestion on, the automatic system.
 - 7.4.5.2 This manual telephone system should take its supply from a source as far as possible independent of the main station telecommunication battery, to ensure that in the event of failure of the latter all communications within the station will not be lost.
 - 7.4.5.3 It is desirable that this system should provide facilities to enable an extension to be recalled, even though the telephone is off its rest.
 - 7.4.5.4 The cabling provided for the manual system should be independent of the cabling serving the main automatic system.
- 7.4.6 In addition to the above facilities, consideration should be given to the installation of a limited number of sound-power instruments. The cabling for this system should be independent of the cabling of any other system.
- 7.4.7 In both the automatic and the manual telephone systems, the control room should have an adequate number of extensions from which one should be reserved for emergency calls.

8. **General alarms**

Under consideration.

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
