

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60737

Première édition
First edition
1982-01

**Mesures de température en cœur ou dans
l'enveloppe primaire des réacteurs nucléaires
de puissance –
Caractéristiques et méthodes d'essais**

**In-core temperature or primary envelope
temperature measurements in nuclear power
reactors –
Characteristics and test methods**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60737: 1982

Numéros des publications

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

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

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

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

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60737

Première édition
First edition
1982-01

**Mesures de température en cœur ou dans
l'enveloppe primaire des réacteurs nucléaires
de puissance –
Caractéristiques et méthodes d'essais**

**In-core temperature or primary envelope
temperature measurements in nuclear power
reactors –
Characteristics and test methods**

© IEC 1982 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

M

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Définitions	6
4. Considérations générales	8
5. Caractéristiques des capteurs de mesure de température en cœur	10
5.1 Caractéristiques mécaniques	10
5.2 Caractéristiques électriques et caractéristiques de fonctionnement	12
6. Guide concernant la conception du système	14
7. Fabrication et méthodes d'essai	20
7.1 Essais de présérie	20
7.2 Procédés de fabrication et essais de série	20
7.3 Essais sur le site	22

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. Definitions	7
4. General considerations	9
5. Characteristics of in-core temperature measuring sensors	11
5.1 Mechanical characteristics	11
5.2 Electrical and operational characteristics	13
6. Guide to system design	15
7. Manufacturing and test methods	21
7.1 Pre-production testing	21
7.2 Production processes and testing	21
7.3 Tests on site	23

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MESURES DE TEMPÉRATURE EN CŒUR OU DANS L'ENVELOPPE
PRIMAIRE DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES DE PUISSANCE
CARACTÉRISTIQUES ET MÉTHODES D'ESSAIS**

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

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

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Stockholm en 1980. A la suite de cette réunion, un projet, document 45A(Bureau Central)65, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en janvier 1981.

Les Comités nationaux des pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Finlande
Allemagne	France
Belgique	Italie
Canada	Pays-Bas
Chine	Pologne
Corée (République Démocratique Populaire de)	Royaume-Uni
Espagne	Tchécoslovaquie
Etats-Unis d'Amérique	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

Autre publication de la CEI citée dans la présente norme:

Publication n° 709: Séparation dans le système de protection des réacteurs.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**IN-CORE TEMPERATURE OR PRIMARY ENVELOPE
TEMPERATURE MEASUREMENTS IN NUCLEAR POWER REACTORS
CHARACTERISTICS AND TEST METHODS**

FOREWORD

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

PREFACE

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

A first draft was discussed at the meeting held in Stockholm in 1980. As a result of this meeting, a draft, Document 45A(Central Office)65, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in January 1981.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Belgium
Canada
China
Czechoslovakia
Finland
France
Germany
Italy
Korea (Democratic People's
Republic of)

Netherlands
Poland
South Africa (Republic of)
Spain
Union of Soviet
Socialist Republics
United Kingdom
United States of America

Other IEC publication quoted in this standard:

Publication No. 709: Separation within the Reactor Protection System.

MESURES DE TEMPÉRATURE EN CŒUR OU DANS L'ENVELOPPE PRIMAIRE DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES DE PUISSANCE CARACTÉRISTIQUES ET MÉTHODES D'ESSAIS

1. Domaine d'application

La présente norme est applicable aux aspects généraux de la conception, des caractéristiques, de la fabrication et des méthodes d'essai d'une instrumentation de mesure de température en cœur pour réacteurs nucléaires de puissance. L'accent est mis sur les aspects particuliers des applications nucléaires et les recommandations formulées au sujet des composants et des capteurs ne concernent que leur positionnement dans l'enveloppe primaire et/ou dans des champs de rayonnements intenses.

2. Objet

La norme fait état de considérations d'ordre général, mais seuls les thermocouples et les thermomètres à résistance font l'objet de considérations spécifiques.

3. Définitions

3.1 *Capteur de température en cœur*

Dispositif, fixe ou mobile, conçu pour fournir un signal de mesure des températures en un point défini, dans le cœur d'un réacteur ou dans l'enveloppe primaire. Un thermocouple gainé, un thermocouple à jonction isolée, un thermocouple à jonction non isolée ou un thermomètre à résistance sont des exemples d'un tel capteur.

3.2 *Système de mesure de la température en cœur*

Système utilisant des capteurs de température en cœur et qui est conçu pour la mesure de la température du réfrigérant primaire, du combustible et des structures du réacteur. Ce système peut, soit constituer une partie, soit être indépendant du système général de surveillance en cœur qui fournit les informations nécessaires au fonctionnement normal du réacteur.

3.3 *Thermocouple gainé*

Thermocouple noyé dans un isolant minéral, à l'intérieur d'un tube de protection métallique imperméable aux gaz.

3.4 *Thermocouple à jonction isolée*

Thermocouple gainé dans lequel la jonction de mesure est isolée électriquement par rapport à la gaine.

3.5 *Thermocouple à jonction non isolée*

Thermocouple gainé dans lequel la jonction de mesure est connectée électriquement à la gaine.

IN-CORE TEMPERATURE OR PRIMARY ENVELOPE TEMPERATURE MEASUREMENTS IN NUCLEAR POWER REACTORS CHARACTERISTICS AND TEST METHODS

1. Scope

This standard is applicable to general aspects of design, characteristics, manufacturing and test methods for in-core temperature measurement instrumentation in nuclear power reactors. Emphasis is placed on the features peculiar to the nuclear application and recommendations concerning components and sensors are made only when they relate to the containment of such components within the reactor primary envelope and/or in high radiation fields.

2. Object

Statements of general applicability are made but detailed consideration is restricted to thermocouples and resistance thermometers.

3. Definitions

3.1 *In-core temperature measuring sensor*

A device, fixed or movable, designed to provide a signal for the measurement of temperature at a defined point in the region of a reactor core or primary envelope. Examples are sheathed thermocouples, insulated junction thermocouples, non-insulated junction thermocouples and resistance thermometers.

3.2 *In-core temperature measuring system*

The system, using in-core temperature measuring sensors, which is designed for the measurement of primary coolant, fuel and reactor structure temperatures.

This system may be either independent of or a part of the general in-core monitoring system which provides the information necessary for normal reactor operation.

3.3 *Sheathed thermocouple*

A thermocouple embedded in a mineral insulation within a gas-tight, metal protecting tube.

3.4 *Insulated junction thermocouple*

A sheathed thermocouple in which the measuring junction is electrically isolated from the sheath.

3.5 *Non-insulated junction thermocouple*

A sheathed thermocouple in which the measuring junction is electrically connected to the sheath.

3.6 Thermocouple à structure coaxiale

Thermocouple constitué par deux câbles coaxiaux séparés dont les conducteurs centraux sont faits de métaux différents, ces câbles étant reliés au point de mesure.

3.7 Thermomètre à résistance

Thermomètre dont le fonctionnement dépend des variations d'une résistance électrique en fonction de la température.

3.8 Vie utile (d'un capteur)

Durée totale de fonctionnement dans des conditions de rayonnement et d'environnement maintenues à l'intérieur de limites spécifiées, après laquelle les caractéristiques du capteur dépassent les tolérances spécifiées. La vie utile peut être exprimée en fluence de particules incidentes, en temps, etc.

4. Considérations générales

4.1 Les principes généraux de la mesure des températures dans une centrale nucléaire de puissance sont ceux qui s'appliquent normalement aux systèmes d'instrumentation des réacteurs.

4.2 Les conditions imposées par l'utilisation dans un réacteur sont souvent différentes de celles qui sont rencontrées dans des applications non nucléaires. Certaines parties du système de mesure de la température en cœur peuvent être placées dans des environnements très sévères. L'exposition à de fortes doses en neutrons et gammas est capable de provoquer des erreurs de mesure dues à des transformations nucléaires, à l'échauffement et à des changements de structure et d'affecter les propriétés mécaniques et électriques de l'équipement, de sorte qu'il faut veiller avec soin aux normes à adopter pour les installations et au choix des matériaux. De plus, il faut souvent tenir compte, au niveau de la conception, des effets d'une pression ambiante élevée, de températures et de gradients de température élevés, du cyclage en température, ainsi que de la façon dont le système de mesure de température pourrait influencer la sûreté ou les caractéristiques économiques du réacteur.

Cette norme traite de ces prescriptions supplémentaires. Elle a deux buts:

- a) fournir des directives permettant de mieux s'assurer que les conditions régnant dans le réacteur n'endommagent pas les capteurs de température;
- b) s'assurer que le système de mesure de température en cœur et l'installation du capteur ne nuisent pas à la sûreté de fonctionnement et à la disponibilité du réacteur.

4.3 Les mesures de température peuvent être nécessaires sur le combustible, le modérateur, le réfrigérant ou sur les parties de structures supportant le cœur. Elles peuvent servir à des fins de commande, au système de protection ou pour recueillir des renseignements plus généraux sur le réacteur ou ses composants.

Dans un réacteur de puissance pourvu d'un cœur de grandes dimensions, il peut être important de surveiller non seulement les températures moyennes, mais aussi leur distribution spatiale. Il est possible d'utiliser des mesures prises en des points particuliers, avec le contrôle de parties spécifiques du cœur, pour garantir des marges de sécurité suffisantes aux paramètres de protection du système, ou pour assurer l'utilisation optimale du combustible.

3.6 Coaxial thermocouple

A thermocouple in which dissimilar metals form the central conductors of two separate coaxial cables. These cables are joined at the measurement position.

3.7 Resistance thermometer

A thermometer, the operation of which depends on the variation of electrical resistance with temperature.

3.8 Useful life (of a sensor)

Operational life under irradiation and environmental conditions restricted within specified limits, after which the sensor characteristics exceed specified tolerances. Useful life can be expressed in terms of incident particle fluence, time, etc.

4. General considerations

- 4.1 The general principles of temperature measurement in a nuclear power plant should be those which normally apply to reactor instrumentation systems.
- 4.2 The conditions imposed by reactor use are often different from those which occur in non-nuclear applications. Parts of the in-core system may be located in very severe environments. Exposure to high neutron and gamma radiations is liable to cause error due to nuclear transformations and heating, to structural changes and to affect the mechanical and electrical properties of the equipment so that extra care has to be taken in the standards adopted for installations and in the choice of materials. Furthermore, design consideration must, in most cases, be given to the effects of high environmental pressure, high temperature, temperature gradients and temperature cycling as well as to the way in which the temperature measuring system could influence the safety or economic performance of the reactor.

This standard deals with those additional requirements. It has two purposes:

- a) to provide a guide which will help to ensure that the reactor conditions do not damage the temperature sensors;
 - b) to ensure that the in-core temperature measuring system and the sensor installation do not prejudice the safe operation and the availability of the reactor.
- 4.3 Temperature measurements may be required from the fuel, moderator, coolant or structural members supporting the core. They may be used for control purposes, for the protection system or for the provision of more general information about the reactor or about components.

In a power reactor with a core which has large physical dimensions, it may be important to monitor not only mean temperatures but also spatial distributions. Measurements at particular positions may be used for the control of specific parts of the reactor core to ensure adequate safety margins for protection system parameters or to provide for optimum fuel utilization.

Certaines mesures en cœur pourraient aussi s'imposer, par exemple, pour préserver le combustible des dégâts causés par des perturbations locales du débit de réfrigérant ou par des variations transitoires de la densité de puissance locale.

- 4.4 Dans la plupart des cas, les capteurs sont utilisés pour mesurer directement la température, mais il existe parfois des applications dans lesquelles l'information est déduite des fluctuations de la température. Citons, à titre d'exemple, le débit du réfrigérant qui se déduit par corrélation des fluctuations mesurées à l'aide de deux capteurs espacés géographiquement.
- 4.5 Les signaux de température peuvent être mesurés de manière continue ou discontinue selon le type d'application, ce qui, ordinairement, n'affecte pas la conception de l'installation en cœur.

5. Caractéristiques des capteurs de mesure de température en cœur

Cet article ne concerne que les caractéristiques importantes pour l'utilisation en cœur des capteurs de température. La liste des caractéristiques, jointe au guide de l'article 6 et aux spécifications particulières du matériel et de ses performances, peut alors servir à orienter la commande et l'achat.

Les capteurs considérés peuvent être des thermocouples gainés ou des thermomètres à résistance. Des thermocouples avec ou sans isolant peuvent être utilisés, mais les thermocouples avec isolant sont moins sujets à une diminution de la précision et à l'émission de signaux intempestifs dus aux défauts et aux perturbations électromagnétiques.

Les thermocouples peuvent être fabriqués avec des métaux ordinaires, des métaux rares ou des matériaux non métalliques. Les thermocouples gainés de métaux ordinaires sont employés pour des températures de fonctionnement allant jusqu'à 1 100 °C.

Les caractéristiques suivantes, relatives aux capteurs, doivent être prises en compte lors de l'étude du système de mesure. Cette liste de caractéristiques s'applique aussi bien aux thermomètres à résistance qu'aux thermocouples.

5.1 Caractéristiques mécaniques

a) Dimensions

Les dimensions et les tolérances du capteur et du câble de raccordement en cœur doivent être spécifiées. Elles comprennent les dimensions extérieures du câble et du capteur, les épaisseurs de la gaine et des conducteurs ainsi que les caractéristiques de flexibilité (nombre de courbures, rayons permis, etc.) se rapportant à l'utilisation envisagée.

Ces renseignements peuvent être complétés par un croquis coté. La taille des grains des matériaux des conducteurs peut aussi avoir de l'importance.

b) Matériaux de structure

Les principaux matériaux de structure du capteur (composants métalliques et isolants) doivent être identifiés et garantis par le fournisseur. Il faut aussi fournir des renseignements concernant les éléments des principales impuretés, lorsque de tels éléments risquent de créer des difficultés par suite d'absorption de neutrons. Ces éléments pourraient être responsables d'une activité après irradiation qui rendrait les manipulations difficiles ou qui entraînerait une défaillance prématurée, ou qui pourrait fausser les mesures dans le cas de transmutation.

Some in-core measurements may also be necessary for reasons such as protecting the fuel from damage caused by local disturbances in coolant flow or by transients in local power density.

- 4.4 In most cases, temperature sensors are used to measure temperature directly, but applications do arise in which information is derived from fluctuations in temperature. An example is the derivation of coolant flow by correlation of the fluctuations obtained from a spaced pair of sensors.
- 4.5 The temperature signals may be measured in a continuous or discontinuous manner depending on the application. This will not usually affect the design of the in-core installation.

5. Characteristics of in-core temperature measuring sensors

This clause considers only the characteristics which are important to the in-core application of temperature sensors. The list of characteristics given may be combined with the guide recommended in Clause 6 and with detailed material and performance specifications to form a basis for ordering and purchase.

The sensors under consideration may be either sheathed thermocouples or resistance thermometers. The thermocouples may be insulated or non-insulated but insulated types are recommended because they tend to be less susceptible to reduction in accuracy and to spurious signals produced by fault conditions and to electromagnetic disturbances.

Thermocouples may be fabricated from base metals, rare metals or non-metallic materials. Base metal-sheathed thermocouples are used for operating temperatures up to 1 100 °C.

The following sensor parameters shall be considered by the system designer. The list of characteristics applies to both resistance thermometers and thermocouples.

5.1 Mechanical characteristics

a) Dimensions

The dimensions and tolerances of the sensor and the in-core connecting cable shall be specified. This includes outside dimensions of the cable and sensor, sheath thicknesses and conductor thicknesses together with bending data (numbers of bends, permissible radii, etc.) relevant to the proposed application.

This information may be supplemented by an outline diagram. The grain size of the materials of the conductors may also be important.

b) Constructional materials

The principal materials in the sensor structure (metallic and insulator components) shall be identified and certified by the supplier. Information on the major impurity elements is also required where such elements may cause difficulty due to neutron absorption. These elements could cause post irradiation activity which would make handling difficult or lead to premature failure or inaccuracy by transmutation.

c) *Chocs et vibrations*

Les capteurs peuvent être sujets à des défaillances dues à la fatigue ou à des effets similaires lorsqu'ils sont soumis à des chocs ou à des vibrations d'origine mécanique ou sismique, et des essais peuvent être effectués à la demande de l'utilisateur pour déterminer l'influence de ces phénomènes. La tenue de l'ensemble aux chocs et aux vibrations qui peut être, par ailleurs, difficile à spécifier en termes généraux, pourrait être liée à l'utilisation envisagée.

d) *Montage du câble et du capteur*

Les câbles et les capteurs sont potentiellement sujets à des défaillances dues à des montages inadéquats. Les méthodes de montage, le matériel, l'espacement des câbles, leur fixation, etc., doivent être conçus avec des marges de résistance mécanique suffisantes. Les conceptions de matériel doivent tenir compte des vibrations, de la dilatation thermique et des données sismiques.

e) *Intégrité des gaines*

Les câbles et les capteurs sont sujets à des défaillances à cause de très petites imperfections de la gaine, en particulier aux soudures et brasures. Il faudra examiner la nécessité d'effectuer des essais spéciaux pour vérifier l'intégrité des gaines et la nécessité de rechercher l'existence de causes potentielles de détérioration.

f) *Compatibilité*

La compatibilité chimique, physique et électrique entre la gaine du capteur (y compris les soudures et brasures) et tous les autres matériaux en cœur devrait être établie par l'analyse ou par des essais. En plus, lors du choix des matériaux, on devra examiner l'effet des détériorations sur les autres composants du réacteur, pouvant résulter de la rupture d'un capteur en service.

g) *Finition du capteur*

La finition et la propreté de la surface du capteur et de la gaine des câbles sont importantes. On devra spécifier les procédures de nettoyage employées par le fabricant et établir que le degré de protection de l'appareil pendant la période de temps séparant la fabrication de l'installation est compatible avec les conditions de service attendues. La finition de la surface et le degré de traitement thermique de la gaine extérieure du capteur et de celle de ses câbles devraient également être spécifiés.

5.2 *Caractéristiques électriques et caractéristiques de fonctionnement*

a) *Mode de fonctionnement*

Les conditions d'installation et de fonctionnement du capteur et du câble doivent être spécifiées. L'utilisation du signal et le mode de raccordement du capteur à l'ensemble de mesure doivent être étudiés (entre autres le blindage, la mise à la terre du capteur, les connexions sont à considérer avec soin compte tenu de l'effet des perturbations électromagnétiques).

b) *Etendue de mesure et précision*

L'étendue de mesure (augmentée d'une marge pour dépassement de température) pour une précision donnée doit être spécifiée en tenant compte des limitations de l'ensemble de mesure. Il peut être également nécessaire de spécifier la température qui limite la vie utile ainsi que la distribution de température prévue le long du capteur et de son câble.

c) Shocks and vibrations

Sensors may fail by fatigue or by similar effects when subjected to shocks and vibrations of mechanical or seismic origin and tests can be carried out at the request of the user to determine the influence of these phenomena. The resistance of an assembly to shocks and vibrations may, however, be difficult to specify in general terms and could be related to the proposed application.

d) Cable and sensor mounting

Cables and sensors are potentially subject to failure because of inadequate mountings. Mounting procedures and devices, spacing of cables, cable fixings, etc., shall be designed with adequate strength margins. Vibrations, thermal expansion and seismic requirements shall be included in the design.

e) Sheath integrity

Cables and sensors are subject to failure because of very small imperfections in their sheaths, particularly at welded or brazed joints. The need for special tests of sheath integrity and for potential sources of damage shall be considered.

f) Compatibility

The compatibility (chemical, physical and electrical) of the sensor sheath including that of welds and brazes with all other in-core materials should be demonstrated by analysis or test. In addition, the effect of damage to other reactor components which could result from the breakage of a sensor whilst in service shall be considered when materials are chosen.

g) Sensor finish

The finish and cleanliness of the surface of the sensor and its cable sheath is important. Manufacturer's cleaning procedures shall be examined and specified, the protection of the unit between its manufacture and installation shall be demonstrated to be compatible with the expected service conditions. Surface finish and the degree to which the outer sheath of the sensor and its cable is annealed should also be specified.

5.2 *Electrical and operational characteristics*

a) Operating mode

The installation and the operating conditions of the sensor and the cable shall be specified. The intended use of the signal and the manner in which the sensor is connected to the measuring assembly shall be considered (for example: shielding, earthing of the sensor, connections, electromagnetic disturbances are particularly important in this context).

b) Measuring range and accuracy

The measuring range (plus an adequate margin for over-temperature) for a given degree of accuracy shall be specified bearing in mind the limitations of the measuring assembly. The temperature which limits useful life and the expected temperature distribution along the sensor and its cable may also need to be specified.

c) *Sensibilité*

La sensibilité du capteur doit être comprise entre des limites spécifiées, et la méthode d'étalonnage doit être indiquée.

d) *Temps de réponse*

Le temps de réponse du capteur (définition et valeur) doit être spécifié et acceptable pour l'application envisagée.

e) *Isolement et continuité électriques*

La limite de résistance d'isolement du capteur et des câbles doit être spécifiée à la température ambiante ainsi que sous les conditions de fonctionnement les plus sévères. Cette résistance peut dépendre de la tension d'essai dont le maximum doit être spécifié; la résistance de boucle des conducteurs peut être également importante.

f) *Dommages dus aux rayonnements*

Il sera tenu compte de l'effet des rayonnements sur le capteur et sur ses câbles lors de l'étude de leur conception. Il est nécessaire de savoir si les rayonnements modifient la caractéristique d'étalonnage ou endommagent l'appareil et si ces effets sont à court ou à long terme. La valeur de l'activité résiduelle doit être également connue, pour des raisons de manipulation. Les doses et débits de dose maximaux à l'endroit de la mesure doivent être spécifiés. La f.é.m. d'un thermocouple étant due à l'effet Seebeck lié aux gradients de température le long des fils électriques de ses composants, il en résulte que l'irradiation totale, de même que la dose reçue par la jonction de mesure, peut conduire à une perte de l'étalonnage.

g) *Vie utile*

La vie utile prévue du capteur et de son câble doit être compatible avec l'application envisagée. Il peut y avoir des effets de vieillissement mais leur importance et la méthode servant à déterminer la vie utile dépendent des applications particulières.

6. Guide concernant la conception du système

6.1 L'utilisation à laquelle on destine le capteur de température et son câble pour une application particulière exige, de la part de l'utilisateur, une évaluation des performances du capteur et de son câble. Celle-ci doit inclure les effets de l'environnement (température, atmosphère, doses et débits de dose) sur les matériaux et sur la précision de l'appareil pour l'application envisagée. Cet article constitue un guide à l'intention des concepteurs effectuant une telle évaluation dans des conditions d'environnement données.

6.2 Le système, comprenant le capteur de température, son montage et, pour les thermocouples, la jonction de référence, doit être défini, pour l'application envisagée, en termes de précision et de temps de réponse en fonctionnement normal et en situation d'accident. Il peut comprendre des éléments redondants pour améliorer la fiabilité. Les capteurs ne doivent pas modifier, de façon inacceptable, la température à mesurer, ni perturber le fonctionnement du réacteur. Ainsi, un thermocouple pour combustible ne devrait pas perturber l'écoulement du réfrigérant autour de l'élément combustible sur lequel s'effectue la mesure, ni autour des éléments combustibles voisins. On devrait pouvoir obtenir une mesure suffisamment représentative de la température à mesurer. A titre d'exemple, il n'est possible d'obtenir des mesures globales satisfaisantes de la température du réfrigérant que pour une bonne homogénéisation de ce dernier.

c) *Sensitivity*

The sensitivity of the sensor shall be within specified limits and the method of calibration shall be specified.

d) *Response time*

The response time of the sensor (definition and value) shall be specified and shall be acceptable for the proposed application.

e) *Electrical insulation and continuity*

The acceptable electrical insulation leakage of the sensor and cable shall be specified at both room temperature and under the most severe operating conditions. This leakage may be dependent upon the test voltage and the maximum test voltage may need to be specified. The loop resistance of the conductors may also be important.

f) *Radiation damage*

The effect of radiation on a sensor and its cables shall be considered in the design. It is necessary to know whether radiation changes the calibration characteristic or otherwise damages the unit and whether these effects are short or long term. The build-up of residual activity shall also be known for handling reasons. The maximum doses and dose rates at the measuring position shall be specified. As the e.m.f. of a thermocouple originates from the Seebeck effect due to temperature gradients along its component wires, total irradiation as well as the dose to the measuring junction may lead to loss of calibration.

g) *Useful life*

The expected useful life of a sensor and its cable shall be compatible with the proposed application. It is known that ageing effects can occur. Their importance and the method by which useful life is determined will depend on the particular application.

6. Guide to system design

- 6.1 The intended use of a temperature sensor and its cable in a specific application will require evaluation, by the purchaser, of the sensor and its cable. This evaluation shall include the effects of environmental conditions (temperature, atmosphere, radiation doses and dose rates) on the materials together with the accuracy of the instrument in the proposed application. This clause is a guide to designers carrying out such an evaluation.
- 6.2 The system, including the temperature sensor, its installation and, for thermocouples, the reference junction shall be suitable for its proposed purpose in terms of accuracy and response time during normal operation and during and after accidents. It may include redundant elements to improve reliability. Sensors shall not perturb the temperature to be measured to an unacceptable extent and shall not disturb the reactor. For example, a fuel thermocouple should not upset coolant flow over the fuel element being measured or its neighbours. A sufficiently representative measurement of the temperature of interest should be obtained. For example, satisfactory bulk measurements of coolant can only be obtained if adequate mixing is permitted.

Lorsque des erreurs importantes sont inévitables, il peut être nécessaire d'étalonner dans des conditions simulées et d'appliquer un facteur de correction. Pour augmenter la précision, différents moyens sont disponibles, tels que l'utilisation d'écrans thermiques contre le rayonnement thermique.

- 6.3 Un des facteurs déterminant le temps de réponse est le produit de la chaleur spécifique du capteur par la vitesse d'écoulement de la chaleur de l'environnement vers le capteur. Le temps de réponse, la fiabilité et la précision doivent être considérés simultanément. Il est possible, par exemple, de réduire le temps de réponse des thermocouples en diminuant le diamètre de la jonction chaude; en contrepartie, cela peut nuire à la précision et à la fiabilité.
- 6.4 La précision requise doit être déterminée en tenant compte de la perturbation créée par l'instrument de mesure. La différence entre précision relative et précision absolue est importante et on doit les distinguer. Les conséquences de la détérioration (incluant la diminution) de la résistance d'isolement sous l'effet de la température doivent être prises en compte. Pour cela, il est possible de disposer sur place de dispositifs d'étalonnage, mais la façon la plus courante consiste à surveiller les facteurs susceptibles d'amener une perte de précision. Ces facteurs sont la détérioration du capteur par suite d'exposition prolongée aux hautes températures ou aux rayonnements, la perte d'isolement due à une détérioration mécanique et la dérive de l'instrument de mesure. Pour étalonner sur place un groupe de capteurs, il faudrait conserver des enregistrements de tous les capteurs du groupe pour différentes conditions de fonctionnement du réacteur.
- Une méthode d'étalonnage, *in situ*, consiste à rendre amovible un capteur du groupe, afin de pouvoir insérer à sa place un capteur récemment étalonné. Cela entraîne l'installation d'un tube de guidage et la nécessité d'y prévoir, à la conception, des repères de positionnement des capteurs. Lorsque des mesures de température particulièrement précises sont nécessaires, les capteurs peuvent être rendus amovibles afin de pouvoir placer des unités étalonnées à intervalles de temps plus ou moins longs selon les conditions de température et d'irradiation.
- 6.5 Pour tenir compte de la détérioration des capteurs et des câbles due à des pannes aléatoires, il est possible de recourir à la redondance ou d'installer un équipement de secours. Dans ces conditions, il faudra prendre des mesures pour prévenir d'éventuelles défaillances systématiques qui pourraient endommager les unités de rechange, les éléments redondants ainsi que l'équipement installé. A titre d'exemple, les forts débits de réfrigérant sont capables de détruire tous les capteurs d'un groupe non protégé.
- 6.6 Les effets des perturbations électromagnétiques et autres sources de bruit de fond telles que la microphonie du câble et les signaux dus à une irradiation concomitante (effet «collectron») ne doivent provoquer que des erreurs acceptables.
- 6.7 En cas d'utilisation de contacts mobiles pour raccorder les capteurs de température, ces contacts devraient être conçus de façon à ne pas introduire d'erreurs importantes en condition de température stable ou dynamique. Les connecteurs de câbles doivent être d'une qualité compatible avec l'application envisagée.
- 6.8 Les moyens employés pour immobiliser le capteur de température au point de mesure et pour guider le câble jusqu'à son passage dans le réacteur, doivent être compatibles avec l'environnement dans lequel ils sont utilisés. La compatibilité chimique avec l'environnement, la dilatation différentielle et le bon fonctionnement sous les chocs et les vibrations d'origine mécanique ou sismique sont particulièrement importants.

Where significant errors are unavoidable, it may be necessary to calibrate under simulated conditions and apply a correction factor. Various techniques such as thermal irradiation shields are available which can improve accuracy.

- 6.3 One factor determining response time is the product of the thermal capacity of the sensor and the rate at which heat can flow into it from the environment. Response time, reliability and accuracy should be considered together, for example: response time of thermocouples can be shortened by reducing the diameter of the hot junction assembly but this could adversely affect accuracy and reliability.
- 6.4 The required accuracy shall be assessed, taking into account the perturbation caused by the measuring instrument. The difference between relative accuracy and absolute accuracy is important and shall be distinguished. The consequences of deterioration including decrease of insulation resistance at temperature shall be allowed for. This may be done by the provision of *in situ* calibration facilities but is more usually achieved by close attention to the factors which can cause loss of accuracy. These factors are: damage to the sensor following extended times at high temperatures, radiation damage, loss of insulation due to mechanical damage and drift in the measuring instrument. If a group of sensors are to be calibrated *in situ*, records from all of them under various reactor operating conditions should be kept.

One method of *in situ* calibration is to make one sensor of the group removable so that a freshly calibrated unit can be inserted. This entails installing a guide tube and incorporating sensor location points in the guide tube assembly at the design stage. If particularly accurate temperature measurements are required, the sensors may be made removable so that calibrated units can be inserted at intervals of time which will vary, depending on the temperature and irradiation situation.

- 6.5 Deterioration of sensors and cables due to random failure may be allowed for by redundancy or by the provision of installed spare equipment. If this is done, care shall be taken to prevent possible systematic failures which damage the spares or the redundant elements at the same time as the installed equipment. For example, high coolant flow rates can break all the sensors in an unprotected group.
- 6.6 Electromagnetic disturbances and other sources of background signal such as cable microphony and signals due to concomitant irradiation (self-powered effect) shall only produce tolerable errors.
- 6.7 If movable contacts are used in connecting temperature sensors, the design should be such that no significant errors are introduced by these contacts under steady or under dynamic temperature conditions. Cable connectors shall be of a quality commensurate with the proposed application.
- 6.8 The methods used to retain the temperature sensor at the measuring point and to guide the cable to the reactor penetration shall be compatible with the environment in which they will operate. Chemical compatibility with the environment, differential expansion and adequacy in the event of vibrations and shocks are particularly important. Vibrations and shocks may originate from mechanical or seismic sources.

- 6.9 Le cheminement des câbles doit être choisi de façon que ceux-ci ne soient pas endommagés par des engins en mouvement tels que la machine de chargement. Dans le cas où les mesures sont utilisées pour le système de protection, le cheminement des câbles doit également satisfaire aux critères de séparation pour éviter toute défaillance de mode commun (voir à ce sujet la Publication 709 de la CEI: Séparation dans le système de protection des réacteurs).

Des boucles pourront être nécessaires pour éviter des tensions mécaniques sur les câbles lorsque certaines parties de la structure se déplacent les unes par rapport aux autres sous l'effet de la température. Des photographies de l'installation devraient être prises pour aider à résoudre les difficultés qui pourraient apparaître après que l'enveloppe primaire du réacteur aura été fermée.

- 6.10 L'influence de l'instrumentation en cœur sur les caractéristiques de fonctionnement du réacteur doit être soigneusement évaluée et doit rester dans des limites acceptables. Cette évaluation tient compte, en particulier, des transitoires de réactivité maximaux pouvant être causés par un mauvais fonctionnement envisageable de l'équipement, par une perturbation de l'écoulement du réfrigérant en conditions normales ou anormales, par une perturbation éventuellement introduite par l'équipement dans le déroulement des actions de sécurité, ou par tout défaut de fonctionnement susceptible de nuire à l'intégrité de l'enveloppe primaire. Il doit être tenu compte des conséquences possibles du cas de la détérioration de la gaine d'un câble, laissant l'isolant pénétrer dans le réfrigérant du réacteur, ou de l'éventualité d'une fuite du réfrigérant du réacteur le long d'un câble.
- 6.11 L'analyse du paragraphe 6.10 doit aussi porter sur les procédures de remplacement de l'équipement en cœur. Il convient d'accorder la préférence à la procédure garantissant la meilleure disponibilité de l'installation. L'activité bêta et gamma à vie longue, produite par l'activation neutronique dans l'équipement en cœur, pourra entraîner généralement des problèmes de radioprotection pendant les manutentions. Ces effets devraient être soigneusement pris en considération et minimisés dans la mesure du possible, grâce au choix judicieux des matériaux de structure et de la conception mécanique de l'installation. De même les mécanismes, etc., devant être manipulés pendant les périodes d'entretien, devraient être étudiés.
- 6.12 Les matériaux du système de mesure situés dans le cœur doivent être compatibles avec les fonctions requises pour les conditions d'ambiance régnant dans le cœur. En particulier, à partir des essais sur prototype ou par l'interprétation d'autres données obtenues expérimentalement, l'influence à long terme des rayonnements neutronique ou gamma et l'influence du cyclage en température devraient être connues.
- 6.13 Le système doit être conçu de façon à faciliter, si nécessaire, les essais fonctionnels des composants en cœur, réacteur en marche. Des composants de rechange installés peuvent, par exemple, être calibrés par rapport à des appareils opérationnels. Les essais de continuité et d'isolement doivent être possibles.
- 6.14 La vie utile d'un ensemble en cœur devrait être choisie de telle manière qu'un remplacement puisse être effectué sans affecter la disponibilité et la sûreté de la centrale.
- 6.15 L'effet de la chaleur produite par l'absorption des rayonnements doit être pris en compte dans la conception du système.
- 6.16 Les méthodes permettant d'identifier les capteurs et leurs câbles pendant la construction du réacteur doivent être spécifiées.

- 6.9 Cable routes shall be selected to prevent fouling by moving machinery such as the charge machine. If the measurements are used in the protection system, the cable routes shall also satisfy separation requirements to obviate common mode failures. For cable routing and segregation, see IEC Publication 709: Separation within the Reactor Protection System.

Loops may be necessary to avoid possible stress on cables when structural members move relative to each other under the effects of temperature. Photographs of the installation should be taken to help resolve difficulties which may arise after the primary envelope has been sealed.

- 6.10 The possible influence of in-core instrumentation on the operating characteristics of the reactor shall be carefully evaluated and shall be shown to be within acceptable limits. In particular, that evaluation shall consider maximum reactivity transients which can be caused by conceivable malfunctioning of the equipment, possible disturbance to coolant flow in normal and abnormal conditions, any risk that the equipment will disturb the performance of safety actions and the risk of malfunctions which may compromise the integrity of the primary envelope. The possible consequences of a damaged cable sheath allowing insulant into the reactor coolant or the possibility of the reactor coolant leaking out via a cable shall be considered.
- 6.11 The analysis of Sub-clause 6.10 shall also include procedures for replacement of in-core equipment. The procedure which ensures best plant availability should be preferred. The creation of long-lived gamma and beta activity in in-core equipment through neutron activation will usually lead to radiation protection problems during handling procedures. These effects should be carefully considered and minimized as far as possible through the proper choice of structural materials as well as the mechanical design of the unit. Similar consideration should be given to mechanisms, etc., which are handled during maintenance.
- 6.12 The materials used in the core parts of the system shall be acceptable for their functions under the ambient conditions obtaining in the reactor core. In particular, the influence of long-term neutron and gamma radiation and temperature cycling should be known from tests of prototype assemblies or the interpretation of other experimentally obtained data.
- 6.13 The system shall be designed to facilitate functional testing, if required, of in-core components during reactor operation. Installed spares may, for example, be calibrated against operational instruments. Continuity and insulation testing shall certainly be possible.
- 6.14 The useful life of an in-core assembly should be chosen so that replacement can be achieved without reducing the availability and safety of the plant.
- 6.15 The effect of heat produced by the absorption of radiation shall be included in the system design.
- 6.16 The method of identifying sensors and their cables during reactor installation shall be specified.

7. Fabrication et méthodes d'essai

Les points suivants sont particulièrement importants pour les utilisations en réacteur et devraient être inclus dans toute commande et dans tout programme de fabrication ou d'essai. La prise en considération de ces divers points pourrait conduire à des prescriptions plus difficiles à respecter que celles normalement utilisées dans l'industrie non nucléaire.

Les câbles à isolant minéral peuvent être endommagés par l'application de tensions d'essai trop élevées. La tension d'essai maximale à utiliser pour les mesures de résistances d'isolement doit être spécifiée.

7.1 Essais de présérie

- a) Des essais de présérie doivent être effectués pour établir que le choix du capteur de mesure de température en cœur proposé satisfait aux spécifications. Ces essais peuvent englober des expériences sur les effets des vibrations et des chocs et sur la détérioration par les rayonnements.
- b) Des essais sur prototypes devraient aussi être effectués sur des composants individuels du système tels que les connecteurs, sur le mode de raccordement aux capteurs, sur la fiabilité de la jonction de mesure pour les thermocouples, sur les effets de la corrosion, etc.
- c) Le fabricant doit utiliser des méthodes adaptées d'assurance de la qualité et devrait avoir les moyens de minimiser les conséquences découlant de difficultés imprévues de production et de non-conformité aux essais de série.

7.2 Procédés de fabrication et essais de série

Pour spécifier un programme de production et un planning d'essais de fabrication concernant les thermocouples gainés et les thermomètres à résistance, il doit être tenu compte des facteurs suivants:

- a) Les matériaux utilisés dans la fabrication doivent être agréés. En particulier, la surface des composants doit être exempte de contamination par des poisons nucléaires tels que le bore, le cadmium ou le gadolinium, de substances susceptibles de provoquer la corrosion et de produits chimiquement actifs tels que le chlore. Les lubrifiants et autres produits nocifs inacceptables doivent être exclus.

Les matériaux utilisés pour fabriquer les gaines du câble et du capteur doivent être conformes aux spécifications et exempts de défauts gênants susceptibles d'écourter la vie utile du capteur.

Les matériaux isolants doivent avoir une composition susceptible d'assurer une résistance d'isolement élevée, une bonne tenue à la corrosion et des performances acceptables de tenue aux rayonnements pendant toute la durée de vie du capteur.

- b) Les câbles doivent avoir fait l'objet de traitements et d'essais appropriés. Ceux-ci comprennent:
 - le traitement thermique assurant un recuit et une taille de grains appropriés;
 - les essais de vérification de la configuration des conducteurs;
 - les essais d'intégrité de la gaine pour vérifier l'absence de trous;
 - les essais de ductilité de la gaine et du conducteur;
 - les essais de vérification de la bonne résistance du conducteur et de la résistance d'isolement de l'isolant;
 - les essais de résistance à la corrosion.

La méthode de mesure des résistances d'isolement doit être spécifiée.