NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
62117

Première édition
First edition
1999-12

Instrumentation des réacteurs nucléaires – Réacteurs à eau légère pressurisée (REP) – Surveillance du refroidissement correct du coeur au cours de l'arrêt à froid

Nuclear reactor instrumentation – Pressurized light water reactors (PWR) – Monitoring adequate cooling within the core during cold shutdown

Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 62117:1999

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

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: S*ymboles 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.

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

NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
62117

Première édition
First edition
1999-12

Instrumentation des réacteurs nucléaires – Réacteurs à eau légère pressurisée (REP) – Surveillance du refroidissement correct du coeur au cours de l'arrêt à froid

Nuclear reactor instrumentation – Pressurized light water reactors (PWR) – Monitoring adequate cooling within the core during cold shutdown

© IEC 1999 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 photo-copie 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 3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
Telefax: +41 22 919 0300 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 U

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

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

SOMMAIRE

Pages

AVANT-PROPOS 6
INTRODUCTION 8

Articles

1 Domaine d'application et objet 10
2 Références normatives 12
3 Définitions et abréviations 14
4 Conditions de fonctionnement 16
4.1 Généralités 16
4.2 Opérations de maintenance au cours de l'arrêt à froid 16
4.3 Opération de rechargement du combustible au cours de l'arrêt à froid 18
5 Méthodes de mesure 18
5.1 Généralités 18
5.2 Instruments de mesure du niveau d'eau dans la cuve du réacteur 20
5.2.1 Mesure de la pression différentielle 20
5.2.2 Mesure par thermocouple chauffé 20
5.3 Dispositifs de mesure du niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur 22
5.3.1 Mesure de la pression différentielle 22
5.3.2 Surveillance du niveau d'eau par ultrasons 22
5.4 Dispositifs de mesure de la température à la sortie du cœur 22
5.4.1 Thermocouples à la sortie du cœur 22
5.4.2 Température de la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur 24
5.4.3 Température du système d'évacuation de la puissance résiduelle 24
6 Exigences relatives à l'instrumentation 24
6.1 Exigences générales 24
6.1.1 Classes de sûreté 24
6.1.2 Précision et temps de réponse 24
6.1.3 Fiabilité 26
6.1.4 Cas d'une défaillance unique 26
6.2 Mesure de pression différentielle 26
6.2.1 Transmetteurs de pression différentielle 26
6.2.2 Colonnes de référence 26
6.2.3 Emplacements des piquages pour la mesure de pression différentielle 28
6.2.4 Installations de la ligne d'instrumentation hydraulique 28
6.2.5 Température des lignes d'instrumentation hydraulique 30
6.2.6 Type et qualité du fluide dans les lignes d'instruments 30
6.3 Mesure par thermocouple chauffé 30
6.4 Mesure du niveau d'eau par ultrasons 30
6.4.1 Application 30
6.4.2 Précision et temps de réponse 32
6.4.3 Questions relatives à l'installation 32
6.4.4 Questions spéciales relatives à l'interface homme-machine 32
6.5 Dispositifs de mesure de température 32

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

CONTENTS

Page

FOREWORD 7
INTRODUCTION 9

Clause

1 Scope and object 11
2 Normative references 13
3 Definitions and abbreviations 15
4 Operational conditions 17
4.1 General 17
4.2 Cold shutdown maintenance operations 17
4.3 Cold shutdown refuelling operation 19
5 Measurement methods 19
5.1 General 19
5.2 RPV water level measuring devices 21
5.2.1 Differential pressure measurement 21
5.2.2 Heated sensor measurement 21
5.3 RPV outlet pipe water level measuring devices 23
5.3.1 Differential pressure measurement 23
5.3.2 Ultrasonic liquid level monitoring 23
5.4 Core exit temperature sensing devices 23
5.4.1 Core exit thermocouples 23
5.4.2 RPV outlet pipe temperature 25
5.4.3 RHRS temperature 25
6 Instrumentation requirements 25
6.1 General requirements 25
6.1.1 Safety classification 25
6.1.2 Accuracy and response time 25
6.1.3 Reliability 27
6.1.4 Single failure considerations 27
6.2 Differential pressure measurement 27
6.2.1 Differential pressure transmitters 27
6.2.2 Reference columns 27
6.2.3 Differential pressure tap locations 29
6.2.4 Hydraulic instrument line installations 29
6.2.5 Hydraulic instrument line temperature 31
6.2.6 Type and quality of the fluid in the instrument lines 31
6.3 Heated sensor measurement 31
6.4 Ultrasonic liquid level measurement 31
6.4.1 Application 31
6.4.2 Accuracy and time response 33
6.4.3 Installation considerations 33
6.4.4 Special human machine considerations 33
6.5 Temperature sensing devices 33

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

Articles Pages
7 Traitement des données 32
8 Présentation de l'information 32
9 Vérification et étalonnage 34
10 Contrôle en service et maintenance 34
11 Qualification 34
12 Documentation 36

Annexe A (informative) Evénements de perte de refroidissement du cœur en arrêt à froid dans les REP 46
Annexe B (informative) Etats de fonctionnement de la centrale 48

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

Clause Page
7 Data processing 33
8 Presentation of information 33
9 Verification and calibration 35
10 In-service testing and maintenance 35
11 Qualification 35
12 Documentation 37

Annex A (informative) Loss of core cooling events during cold shutdown at PWRs 47
Annex B (informative) Plant operating states 49

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

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

INSTRUMENTATION DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES – RÉACTEURS À EAU LÉGÈRE PRESSURISÉE (REP) – SURVEILLANCE DU REFROIDISSEMENT CORRECT DU CŒUR AU COURS DE L'ARRÊT À FROID

AVANT-PROPOS

1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62117 a été établie par le sous-comité 45A: Instrumentation des réacteurs, du comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45A/362/FDIS	45A/367/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette norme a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Les annexes A et B sont données uniquement à titre d'information.

Le comité a décidé que cette publication reste valable jusqu'en 2004. A cette date, selon décision préalable du comité, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

NUCLEAR REACTOR INSTRUMENTATION – PRESSURIZED LIGHT WATER REACTORS (PWR) – MONITORING ADEQUATE COOLING WITHIN THE CORE DURING COLD SHUTDOWN

FOREWORD

1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62117 has been prepared by subcommittee 45A: Reactor instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
45A/362/FDIS	45A/367/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Annexes A and B are for information only.

The committee has decided that this publication remains valid until 2004. At this date, in accordance with the committee's decision, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

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

INTRODUCTION

La CEI 60911 a été introduite en 1987 pour traiter du problème général des mesures de surveillance du refroidissement du cœur des réacteurs à eau légère. Cette norme s'intéressant tout d'abord au problème général, ne traite pas des conditions particulières, comme l'arrêt à froid, durant lequel des systèmes classiques, conformes aux exigences de la CEI 60911, se sont révélés être inadaptés et trompeurs, et durant lequel des incidents se sont d'ores et déjà produits.

Ainsi, après publication de la CEI 60911, il a été décidé qu'il serait utile de développer une norme équivalente pour traiter du sujet lors des arrêts à froid de façon à formuler des exigences propres pour l'instrumentation garantissant que le refroidissement du cœur est maintenu durant ces conditions particulières, lorsque le niveau d'eau dans la cuve du réacteur est réduit à des fins de maintenance. Il faut donc considérer la présente norme en conjonction avec la CEI 60911 dont elle étend le domaine.

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

INTRODUCTION

IEC 60911 was introduced in 1987 to address the general issue of measurements for monitoring adequate cooling within the core of pressurized light water reactors. That standard, focusing primarily upon the general issue, does not tackle special conditions, such as cold shutdown, during which existing systems, complying with the requirements of IEC 60911, have been found to be inadequate and misleading and during which some incidents have already occurred.

Therefore, after the publication of IEC 60911, it was decided that it would be useful to develop a similar standard to address the topic during cold shutdown in order to formulate specific requirements for instrumentation to assure that core cooling is maintained during the considered cold shutdown conditions when the reactor vessel water level is reduced for maintenance purposes. Thus, the current International Standard is to be considered in conjunction with IEC 60911 of which it extends the scope.

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

INSTRUMENTATION DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES – RÉACTEURS À EAU LÉGÈRE PRESSURISÉE (REP) – SURVEILLANCE DU REFROIDISSEMENT CORRECT DU CŒUR AU COURS DE L'ARRÊT À FROID

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale s'applique aux réacteurs à eau pressurisée (REP) ayant des configurations similaires à celles indiquées aux figures 1 et 2, et présente les exigences de surveillance du refroidissement correct du cœur au cours des opérations d'arrêt à froid.

Il est possible d'obtenir un refroidissement correct du cœur uniquement en faisant circuler le fluide de refroidissement à un débit suffisant pour éliminer la puissance produite dans le cœur. Au cours des opérations d'arrêt à froid, le refroidissement du cœur est obtenu par une circulation forcée du système d'élimination de la puissance résiduelle (RRA). Cependant, au cours de certaines opérations d'arrêt lorsque le niveau d'eau dans la cuve du réacteur est réduit pour des opérations de maintenance, la circulation forcée risque d'être interrompue et le cœur peut passer en surchauffe.

Il est important que les opérateurs de l'installation aient à leur disposition des informations fiables pour vérifier que la température et le débit du fluide de refroidissement injecté dans la cuve du réacteur permettent d'éliminer la puissance produite dans le cœur. Ces informations comprennent une mesure fiable du niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur utilisée pour faire passer le fluide depuis le cœur jusqu'au RRA, ainsi que les mesures de température et de débit du fluide de refroidissement. Une mesure du niveau d'eau non fiable peut entraîner l'interruption du débit du fluide de refroidissement et la surchauffe du cœur, événement survenu dans plusieurs REP. L'annexe A, qui décrit certains de ces événements, identifie les conditions qu'il convient de prendre en compte dans la conception de l'instrumentation de surveillance du refroidissement du cœur.

La présente norme fait un résumé des bonnes pratiques internationales à adopter lors de la conception de nouveaux dispositifs de surveillance du refroidissement du cœur des REP ou lors du perfectionnement de dispositifs existants.

La présente norme donne des exigences pour l'instrumentation de surveillance du refroidissement du cœur pour un fonctionnement sûr des REP au cours des opérations d'arrêt à froid lorsque la température du fluide de refroidissement est inférieure à 100 °C (212 °F). Les exigences pour la surveillance du refroidissement du cœur dans des conditions situées hors des conditions d'un accident de référence (ADR), qui pourraient constituer une exigence ou une étude nationale spécifique, ne sont pas traitées dans la présente norme.

L'instrumentation de surveillance du refroidissement du cœur pour l'arrêt à froid fonctionne lorsque le circuit primaire (RCP) est configuré pour une maintenance ou un rechargement du combustible au cours d'un arrêt à froid. Les circonstances dans lesquelles ces systèmes de mesure doivent fonctionner sont décrites dans la présente norme. Les descriptions des différents principes de mesure et des instruments adaptés sont données, ainsi que les exigences relatives aux points suivants:

– les conditions de fonctionnement;
– l'installation;
– les visualisations opérateur;
– le contrôle, l'étalonnage et la maintenance;
– la qualification des équipements;
– la documentation.

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

NUCLEAR REACTOR INSTRUMENTATION – PRESSURIZED LIGHT WATER REACTORS (PWR) – MONITORING ADEQUATE COOLING WITHIN THE CORE DURING COLD SHUTDOWN

1 Scope and object

This International Standard applies to pressurized water reactors (PWRs) with configurations similar to those shown in figures 1 and 2 and presents requirements for the monitoring of adequate cooling within the core during cold shutdown operations.

Adequate core cooling can be achieved only by providing sufficient coolant flow to the core to remove the heat. During cold shutdown operations, core cooling is provided by forced circulation with the residual heat removal system (RHRS). However, in certain shutdown operations when water level in the reactor pressure vessel (RPV) is reduced for maintenance operations, forced circulation may be interrupted, and the core may become overheated.

It is important that plant operators have reliable information to confirm that the temperature and flow of coolant circulated through the RPV is adequate to remove heat from the core. This information includes a reliable measurement of water level in the RPV outlet piping used for circulating the flow from the core to the RHRS, as well as measurements of temperature and flow of the coolant. An unreliable measurement of water level can result in interruption of coolant flow and overheating of the core, an event that has occurred at several PWRs. Annex A, which describes some of these events, identifies conditions which should be considered in the design of core cooling monitoring instrumentation.

Good international practices to be used when designing new or upgrading existing PWR core cooling monitors are summarized in this standard.

Requirements are given in this standard for instrumentation to monitor core cooling for safe operation of PWRs during cold shutdown operations when the coolant temperature is below 100 °C (212 °F). Requirements for core cooling monitoring during conditions beyond a design basis accident (DBA), which could be a specific national requirement or consideration, are not covered in this standard.

The core cooling monitoring instrumentation for cold shutdown functions when the reactor coolant system (RCS) is configured for cold shutdown maintenance or refuelling. The circumstances under which these measurement systems need to function are described in this standard. Descriptions of diverse measuring principles and suitable devices are given together with requirements for the following:

– operational conditions;
– installation;
– operator displays;
– testing, calibration and maintenance;
– equipment qualification;
– documentation.

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

Des applications types dans des centrales nucléaires en exploitation sont également présentées.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60050(393):1996, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 393: Instrumentation nucléaire: Phénomènes physiques et notions fondamentales*

CEI 60737:1982, *Mesures de température en cœur ou dans l'enveloppe primaire des réacteurs nucléaires de puissance – Caractéristiques et méthodes d'essai*

CEI 60770-1:1999, *Transmetteurs utilisés dans les systèmes de conduite des processus industriels – Partie 1: Méthodes d'évaluation des performances*

CEI 60780:1998, *Centrales nucléaires – Equipements électriques de sûreté – Qualification*

CEI 60880:1986, *Logiciel pour les calculateurs utilisés dans les systèmes de sûreté des centrales nucléaires*

CEI 60911:1987, *Mesures pour surveiller la bonne réfrigération du cœur des réacteurs à eau légère pressurisée*

CEI 60964:1989, *Conception des salles de commande des centrales nucléaires de puissance*

CEI 60980:1989, *Pratiques recommandées pour la qualification sismique du matériel électrique du système de sûreté dans les centrales électronucléaires*

CEI 60987:1989, *Calculateurs programmés importants pour la sécurité des centrales nucléaires*

CEI 61225:1993, *Centrales nucléaires – Systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande pour la sûreté – Prescriptions pour les alimentations électriques*

CEI 61226:1993, *Centrales nucléaires – Systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande importants pour la sûreté – Classification*

CEI 61227:1993, *Centrales nucléaires de puissance – Salles de commande – Commandes opérateurs*

CEI 61343:1996, *Instrumentation des réacteurs nucléaires – Réacteurs à eau bouillante (BWR) – Mesures dans la cuve pour la surveillance adéquate du refroidissement du cœur*

IAEA Guide de sûreté 50-SG-D8:1984, *Instrumentation liée à la sûreté et systèmes de contrôle-commande pour les centrales nucléaires*

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

Typical applications in operating power plants are also presented.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60050(393):1996, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 393: Nuclear instrumentation: Physical phenomena and basic concepts*

IEC 60737:1982, *In-core temperature or primary envelope temperature measurements in nuclear power reactors – Characteristics and test methods*

IEC 60770-1:1999, *Transmitters for use in industrial-process control systems – Part 1: Methods for performance evaluation*

IEC 60780:1998, *Nuclear power plants – Electrical equipment of the safety system – Qualification*

IEC 60880:1986, *Software for computers in the safety systems of nuclear power stations*

IEC 60911:1987, *Measurements for monitoring adequate cooling within the core of pressurized light water reactors*

IEC 60964:1989, *Design for control rooms of nuclear power plants*

IEC 60980:1989, *Recommended practices for seismic qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear generating stations*

IEC 60987:1989, *Programmed digital computers important to safety for nuclear power stations*

IEC 61225:1993, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important for safety – Requirements for electrical supplies*

IEC 61226:1993, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important for safety – Classification*

IEC 61227:1993, *Nuclear power plants – Control rooms – Operator controls*

IEC 61343:1996, *Nuclear reactor instrumentation – Boiling light water reactors (BWR) – Measurements in the reactor vessel for monitoring adequate cooling within the core*

IAEA Safety Guide 50-SG-D8:1984, *Safety related instrumentation and control systems for nuclear power plants*

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

3 Définitions et abréviations

Pour les besoins de la présente norme, les définitions et abréviations suivantes s'appliquent.

3.1
ALARA
aussi bas que raisonnablement possible

3.2
fluide de refroidissement
eau et/ou vapeur destinée à éliminer la puissance produite dans le cœur

3.3
ADR
accident de référence

3.4
diversité
existence d'éléments ou de systèmes redondants pour remplir une fonction identifiée, pour laquelle ces éléments ou systèmes incorporent collectivement un ou plusieurs attributs différents [IAEA 50-SG-D8]

3.5
surveillance
moyens prévus pour indiquer en permanence l'état ou les conditions dans lesquelles se trouve un système, un sous-système, un équipement ou un ensemble [VEI 393-08-48]

3.6
réacteur à eau pressurisée (REP)
système d'alimentation en vapeur nucléaire dans lequel le fluide de refroidissement sous pression est chauffé par le cœur du réacteur, et la vapeur du processus est générée dans le générateur de vapeur par transfert de la chaleur à partir du liquide de refroidissement

3.7
RCP
circuit primaire

3.8
enceinte de confinement
structure enfermant le système de refroidissement du réacteur et les pièces des systèmes associés, y compris les structures d'enceintes de confinement sous pression qui contiennent des éléments individuels dans certaines conceptions de centrales nucléaires

3.9
inventaire en eau réduit
configuration volontaire d'exploitation pour la réalisation d'opérations de maintenance spécifiques chaque fois que le niveau d'eau dans la cuve du réacteur est inférieur au point le plus haut de la buse de la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur, plus une tolérance pour l'incertitude de mesure du niveau d'eau

3.10
redondance
installation d'éléments ou de systèmes de remplacement (identiques ou différents), de manière que l'un quelconque de ces éléments ou systèmes puisse remplir la fonction requise quel que soit l'état de fonctionnement ou en cas de défaillance d'un autre élément ou système [IAEA 50-SG-D8]

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

3 Definitions and abbreviations

For the purposes of this standard, the following definitions and abbreviations apply.

3.1
ALARA
as low as reasonably achievable

3.2
coolant
water and/or steam for heat removal from the core

3.3
DBA
design basis accident

3.4
diversity
existence of redundant components or systems to perform an identified function, where such components or systems collectively incorporate one or more different attributes [IAEA 50-SG-D8]

3.5
monitoring
means provided to indicate continuously the state or condition of a system, subsystem, equipment or assembly [IEV 393-08-48]

3.6
pressurized water reactor (PWR)
nuclear steam supply system in which the pressurized coolant is heated by the reactor core, and process steam is generated in the steam generator by heat transfer from the coolant

3.7
RCS
reactor coolant system

3.8
reactor containment
structure enclosing the reactor coolant system and parts of associated systems, including pressure containment structures that enclose individual components in some nuclear power plant designs

3.9
reduced inventory condition
intentional condition that exists during specific maintenance operations whenever water level in the RPV is lower than the top of the RPV outlet piping nozzle elevation, plus an allowance for water level measurement uncertainty

3.10
redundancy
provision of alternative (identical or diverse) elements or systems, so that any one can perform the required function regardless of the state of operation or failure of any other [IAEA 50-SG-D8]

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

3.11
RRA: circuit de refroidissement à l'arrêt
système auxiliaire dans un REP destiné à éliminer la puissance produite dans le cœur du réacteur au cours des opérations d'arrêt

3.12
RPV
cuve du réacteur

3.13
critère de défaillance unique
critère appliqué à un système tel que celui-ci soit capable de remplir sa propre tâche de sûreté lorsqu'il est soumis à une seule défaillance [VEI 393-08-29]

3.14
eau sous-refroidie
eau à une température inférieure à la température de saturation pour la pression existante [CEI 61343:1996, 3.12]

3.15
vapeur surchauffée
vapeur à une température supérieure à la température de saturation pour la pression existante [CEI 61343:1996, 3.13]

4 Conditions de fonctionnement

4.1 Généralités

Le refroidissement correct du cœur peut être confirmé par la mesure indiquant que le fluide de refroidissement est injecté dans la cuve du réacteur à une température, une pression et un débit appropriés pour éliminer la puissance produite dans le cœur du réacteur. Le refroidissement correct est une exigence pour tous les modes de fonctionnement, y compris le fonctionnement en puissance normal, les transitoires de fonctionnement, le fonctionnement anormal et les opérations d'arrêts à chaud et à froid. L'annexe B présente une liste des états de fonctionnement de la centrale tels que définis pour l'analyse effectuée afin d'évaluer le potentiel d'accidents graves au cours des opérations à faible puissance et des opérations d'arrêt. L'analyse comprend également une estimation de la durée des états de fonctionnement de la centrale examinés. Certains états de fonctionnement de la centrale peuvent durer plusieurs mois.

La présente norme couvre les questions relatives à l'instrumentation pour la surveillance du refroidissement du cœur dans les REP ayant des conceptions similaires à celles présentées aux figures 1 et 2. Bien que les conceptions de REP présentées aux figures 1 et 2 soient différentes, ces différences n'ont aucun effet sur la surveillance du refroidissement du cœur au cours de l'arrêt à froid.

Les modes de fonctionnement de l'arrêt à froid sont détaillés ci-après.

4.2 Opérations de maintenance au cours de l'arrêt à froid

Les opérations de maintenance au cours de l'arrêt à froid couvrent les opérations à des températures de fluide de refroidissement inférieures à 100 °C (212 °F), le réacteur étant suffisamment sous-critique (à savoir, $k_{eff} < 0,99$) et tous les écrous de fermeture du couvercle de la cuve du réacteur étant totalement serrés. La puissance résiduelle du cœur est éliminée par le système d'élimination de la puissance résiduelle, qui est équipé d'éléments redondants pour minimiser la possibilité d'une perte de la capacité de refroidissement du cœur. Une source électrique de secours est disponible pour maintenir le débit du fluide de refroidissement afin d'éliminer la puissance au moyen du RRA dans l'éventualité d'une perte de l'alimentation électrique externe.

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

3.11
RHRS: residual heat removal system
auxiliary system in a PWR for removing heat from the reactor core during shutdown operations

3.12
RPV
reactor pressure vessel

3.13
single failure criterion
criterion applied to a system such that it is capable of performing its safety task in the presence of any single failure [IEV 393-08-29]

3.14
sub-cooled water
water at a temperature lower than the saturation temperature corresponding to the existing pressure [IEC 61343:1996, 3.12]

3.15
superheated steam
steam at a temperature higher than the saturation temperature corresponding to the existing pressure [IEC 61343:1996, 3.13]

4 Operational conditions

4.1 General

Adequate core cooling can be confirmed by a measurement indicating that coolant is being circulated through the RPV at an appropriate temperature, pressure and flow to remove heat from the core. The requirement for adequate cooling exists for all operating modes, including normal power operation, operational transients, abnormal operation and hot and cold shutdown operations. Annex B lists plant operating states (POS) as defined for the analysis performed to evaluate the potential of severe accidents during low power and shutdown operations. The analysis also includes an estimate of the duration of the plant operation states examined. Some POSs can last several months.

This standard covers instrumentation considerations for monitoring core cooling at PWRs with configurations similar to those shown in figures 1 and 2. Although PWR configurations shown in figures 1 and 2 differ, the differences have no impact on core cooling monitoring during cold shutdown.

The cold shutdown operating modes are described in detail below.

4.2 Cold shutdown maintenance operations

Cold shutdown maintenance operations cover operations at coolant temperatures below 100 °C (212 °F), with the reactor sufficiently subcritical (that is, k_{eff} < 0,99) and with all RPV head closure bolts fully tensioned. Core residual heat is removed by the RHRS, which has redundant components to minimize the possibility of a loss of core cooling capability. Emergency power is available to maintain coolant flow to remove heat with the RHRS in the event that offsite power is lost.

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

Il existe un état avec inventaire en eau réduit pour des opérations de maintenance spécifiques (à savoir, bouchage d'un tube de générateur de vapeur ou remplacement d'un joint d'une pompe primaire de refroidissement) lorsque le niveau d'eau dans la cuve du réacteur est inférieur au point le plus haut de la buse de la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur, plus une tolérance pour l'incertitude de mesure du niveau d'eau. Au cours de ces opérations spécifiques, l'inventaire en eau est maintenu à hauteur ou au-dessus du niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur nécessaire à la circulation de l'eau primaire vers le circuit de refroidissement à l'arrêt.

En cas d'inventaire en eau réduit, une hausse intempestive de l'inventaire en eau pourrait entraîner un débordement du fluide par les ouvertures de l'enceinte sous pression du circuit primaire, entraînant une contamination du personnel. Une baisse intempestive de l'inventaire en eau pourrait entraîner l'interruption du débit dans le circuit de refroidissement à l'arrêt et du refroidissement du cœur, entraînant une élévation de la température du cœur pouvant mener à l'ébullition du fluide primaire restant dans la cuve du réacteur. Pour éviter de telles conditions, une mesure fiable de l'inventaire en eau primaire et de la température est nécessaire.

4.3 Opération de rechargement du combustible au cours de l'arrêt à froid

L'arrêt à froid pour rechargement du combustible couvre le fonctionnement à des températures de fluide de refroidissement inférieures ou égales à 60 °C (140 °F), un ou plusieurs écrous de fermeture du couvercle de la cuve du réacteur n'étant pas totalement serrés. La puissance résiduelle du cœur est éliminée par le système de refroidissement à l'arrêt. Au début et à la fin d'une opération de rechargement du combustible, l'inventaire en fluide primaire est réduit à un niveau d'eau situé juste en dessous de la bride du couvercle de la cuve du réacteur pour extraire les écrous de fermeture du couvercle de la cuve du réacteur, mais au-dessus du niveau d'eau prévu pour une condition d'inventaire en eau réduit. Les éléments redondants du RRA et la disponibilité d'une source électrique de secours minimisent le risque de perte de refroidissement du cœur.

Lors de la dépose des écrous de fermeture du couvercle de la cuve du réacteur, une hausse intempestive de la réserve du fluide de refroidissement pourrait entraîner un débordement de fluide de refroidissement via la bride de la cuve du réacteur, entraînant une contamination du personnel. Pour alerter les opérateurs, une mesure fiable d'inventaire en eau primaire est nécessaire.

5 Méthodes de mesure

5.1 Généralités

Pour garantir le refroidissement correct des REP au cours d'un arrêt à froid, un débit suffisant doit être injecté en continu dans le cœur. Une surveillance constante du niveau d'eau dans la cuve du réacteur et la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur, ainsi que des températures et du débit du RRA fournit la confirmation du refroidissement correct du cœur. De nombreux types d'instruments de mesure sont disponibles pour surveiller le niveau d'eau, la température, la pression et le débit, mais leurs conditions d'application dépendent en grande partie des exigences spécifiques relatives au paramètre mesuré. De nouveaux instruments de mesure mis au point à l'avenir pourront être appliqués s'ils satisfont aux exigences spécifiques. Les instruments utilisés actuellement pour des applications spécifiques sont comme suit.

Le niveau d'eau dans la cuve du réacteur est mesuré soit par des mesures de pression différentielle, soit par des dispositifs à thermocouples chauffés. Les deux méthodes sont couramment utilisées dans les centrales nucléaires REP en exploitation afin de satisfaire aux exigences de la CEI 60911. Il est possible que ces instruments ne soient pas disponibles lorsque le couvercle de la cuve du réacteur est déposé lors des opérations de rechargement du combustible.

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

A reduced inventory condition exists for specific maintenance operations (for example, steam generator tube plugging or reactor coolant pump seal replacement) whenever water level in the RPV is lower than the top of the RPV outlet piping nozzle elevation, plus an allowance for water level measurement uncertainty. In these specific operations, coolant inventory is maintained at or above the water level in the RPV outlet piping required to circulate coolant to the RHRS.

During a reduced inventory condition, an inadvertent coolant inventory increase could result in coolant overflow through openings in the RCS pressure boundary, resulting in personnel contamination. An inadvertent coolant inventory decrease could interrupt the RHRS flow and core cooling, resulting in the rise in core temperature and possible boiling of the remaining coolant in the RPV. To preclude these conditions, a reliable measurement of coolant inventory and temperature is required.

4.3 Cold shutdown refuelling operation

The cold shutdown refuelling operation covers operation at coolant temperatures at or below 60 °C (140 °F), with one or more RPV head closure bolts less than fully tensioned. Core residual heat is removed by the RHRS. At the beginning and end of a refuelling operation, coolant inventory is reduced to a water level just below the RPV head flange for removal of RPV head closure bolts, but above the water level for a reduced inventory condition. Redundant RHRS components and availability of emergency power minimizes the possibility of a core cooling loss.

During RPV head closure bolt removal, an inadvertent coolant inventory increase could result in coolant overflow through the RPV flange, resulting in personnel contamination. To alert operators, a reliable measurement of coolant inventory is required.

5 Measurement methods

5.1 General

To assure adequate core cooling in PWRs during cold shutdown, sufficient flow shall be continuously circulated through the core. Continuous monitoring of the water level in the RPV and RPV outlet pipe, and of RHRS temperatures and flow provides confirmation of core cooling adequacy. Many types of measuring devices are available for monitoring water level, temperature, pressure and flow, but their applicability depends heavily on the specific requirements for the measured parameter. Additional measuring devices developed in the future may be applied if they meet the specific requirements. Devices currently in use for specific applications are as follows.

The water level in the RPV is measured either by differential pressure instruments or by heated temperature-sensing devices. Both methods are currently in use in operating PWR nuclear power plants and meet the requirements of IEC 60911. These instruments may not be available when the RPV head is removed during refuelling operations.

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

Le niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur est mesuré soit par des instruments à pression différentielle, soit par des dispositifs à ultrasons de surveillance du niveau d'eau. Les deux méthodes sont couramment utilisées dans les centrales nucléaires REP en exploitation.

La température de sortie du fluide de refroidissement primaire est en général mesurée par des thermocouples en sortie du cœur (non disponibles lors des opérations de rechargement du combustible), par des détecteurs installés dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur ou par des détecteurs installés dans le circuit de refroidissement à l'arrêt. Le débit du cœur est en général mesuré par des dispositifs à pression différentielle installés dans le circuit de refroidissement à l'arrêt.

5.2 Instruments de mesure du niveau d'eau dans la cuve du réacteur

La disponibilité de l'eau dans le cœur est essentielle pour un refroidissement correct du cœur dans les réacteurs à eau légère. La mesure du niveau d'eau dans la cuve du réacteur est par conséquent une indication importante du refroidissement du cœur. Deux méthodes, décrites ci-après, sont mises à l'essai en vue de leur utilisation dans les REP.

5.2.1 Mesure de la pression différentielle

La mesure du niveau d'eau dans une cuve de réacteur d'un REP se fonde sur la détection de la différence entre la charge statique de l'eau dans la cuve du réacteur et dans une colonne d'eau à l'extérieur de la cuve lorsque les deux sont soumises à la même pression totale du circuit. Une force proportionnelle à la différence entre les hauteurs d'eau est exercée sur un transducteur électromécanique comme indiqué par la plage du transmetteur de pression différentielle «R» à la figure 3. La force est définie par l'équation:

$$\Delta p = g d_0 h - g[d_f h_f + d_g (h - h_f)]$$

où

Δp est la pression différentielle dans le transmetteur;

d_0 est la masse volumique du fluide (eau) de la colonne de référence à la température régnant dans la colonne de référence;

h est la hauteur de l'étendue de mesure;

d_f est la masse volumique de l'eau dans la cuve du réacteur;

h_f est la hauteur réelle de l'eau dans la cuve du réacteur (niveau d'eau tassé si des vides sont présents);

d_g est la masse volumique de la vapeur dans la cuve du réacteur;

g est l'accélération de la pesanteur.

Pour les opérations de maintenance ou de rechargement du combustible au cours de l'arrêt à froid, la contribution de la densité vapeur/air à Δp est négligeable, et l'équation est simplifiée comme suit:

$$\Delta p = g d_0 h - g[d_f h_f]$$

5.2.2 Mesure par thermocouple chauffé

Le principe de mesure se fonde sur le fait que le transfert de chaleur dans l'eau est bien meilleur que dans l'air ou dans la vapeur stagnante. Un capteur de température, installé avec un élément de chauffage fonctionnant à une puissance constante, indiquera par conséquent une température bien plus proche de la température de l'eau présente à proximité de l'élément que la température de la vapeur ou de l'air présente à proximité de l'élément. L'ensemble de capteurs contient également un thermocouple non chauffé qui mesure la température du fluide qui l'entoure. La différence entre les mesures de température avec un capteur chauffé et non chauffé indique l'état du fluide environnant: une petite différence de température indique la

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

The water level in the RPV outlet piping is measured either by differential pressure instruments or by ultrasonic water level monitoring devices. Both types of measurements are currently in use in operating PWR nuclear power plants.

The core exit temperature is typically measured by core exit thermocouples (unavailable during refuelling operations), by detectors installed in the RPV outlet pipe, or by detectors installed in the RHRS. The core flow is typically measured by differential pressure devices installed in the RHRS.

5.2 RPV water level measuring devices

The availability of water in the core is essential for adequate core cooling in light water reactors. Measuring the water level in the RPV is therefore an important core cooling indication. There are two methods, described below, which are tested for use in PWRs.

5.2.1 Differential pressure measurement

The measurement of the water level in a PWR RPV is based on detecting the difference between the static head of the water in the RPV and a column of water external to the vessel when both are subject to the same total system pressure. A force proportional to the difference in static heads is exerted on an electromechanical transducer as shown by differential pressure transmitter range "R" in figure 3. The force is defined by the equation:

$$\Delta p = g d_0 h - g[d_f h_f + d_g(h - h_f)]$$

where

Δp is the differential pressure across the transmitter;

d_0 is the density of reference leg fluid (water) at the prevailing temperature of the reference leg;

h is the height of measurement span;

d_f is the density of water in the RPV;

h_f is the actual height of water in the RPV (collapsed water level if voids are present);

d_g is the density of steam in the RPV;

g is the gravity acceleration.

For cold shutdown maintenance or refuelling operations, the steam/air density contribution to Δp is negligible, and the equation is simplified to:

$$\Delta p = g d_0 h - g[d_f h_f]$$

5.2.2 Heated sensor measurement

The measurement principle is based on the fact that heat transfer in water is considerably better than that in stagnant steam or air. A temperature sensor, installed together with a heating element operating at a constant power, will therefore indicate a temperature much closer to the temperature of water surrounding the element than the temperature of steam or air surrounding the element. The sensor assembly also contains an unheated temperature sensor that measures the temperature of the surrounding fluid. The difference between the heated and unheated temperature measurements indicates the state of the surrounding fluid:

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

présence d'eau ou d'un mélange à deux phases, alors qu'une grande différence indique la présence de vapeur ou d'air. Un ensemble de capteurs indique par conséquent la présence d'eau ou de vapeur à la hauteur à laquelle il est installé. Les ensembles de capteurs sont installés à différentes hauteurs dans le plenum supérieur de la cuve du réacteur afin de fournir plusieurs indications du niveau d'eau. Les capteurs sont protégés par un tube comportant uniquement des petites ouvertures aux extrémités supérieure et inférieure de sorte que les capteurs mesurent le niveau de liquide séparé et critique pour tous les régimes de débit survenant dans le plenum supérieur de la cuve du réacteur. Des ensembles de capteurs utilisant des thermomètres chauffés et des thermocouples ont été mis au point et appliqués dans les BWR (voir la CEI 61343) et dans les REP (voir la CEI 60911). La CEI 60737 fournit des informations supplémentaires sur les mesures de température.

5.3 Dispositifs de mesure du niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur

Le maintien d'un niveau d'eau approprié dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur lorsque l'inventaire en eau primaire est réduit, est essentiel pour un refroidissement correct du cœur dans les REP. La mesure du niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur est par conséquent une indication importante du refroidissement du cœur. Deux méthodes, décrites ci-après (pression différentielle et ultrasons) sont actuellement utilisées dans les REP. Des thermocouples chauffés, situés à certaines hauteurs particulières dans la cuve du réacteur ou dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur, ne fourniraient pas une précision adéquate pour un contrôle précis du niveau d'eau dans des conditions d'inventaire en eau volontairement réduit, et ne sont pas recommandés pour cette application.

5.3.1 Mesure de la pression différentielle

La mesure du niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur d'un REP se fonde sur la détection de la différence entre la hauteur statique de l'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur et dans une colonne d'eau à l'extérieur du tuyau lorsque les deux sont soumises à la même pression totale du système, comme décrit en 5.2.1 pour la mesure du niveau d'eau de la cuve du réacteur. La plage du transmetteur de pression différentielle "M" à la figure 3 peut s'appliquer.

5.3.2 Surveillance du niveau d'eau par ultrasons

Un capteur à ultrasons est solidement fixé à la partie inférieure de la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur. Le capteur est utilisé uniquement au cours d'un arrêt à froid lorsque l'inventaire en eau est réduit, et peut rester en place ou être retiré au cours d'autres modes de fonctionnement. Les signaux ultrasons remontent au travers de l'épaisseur du tuyau et de l'eau dans le tuyau. Les signaux sont en partie réfléchis par la surface intérieure dans la partie inférieure du tuyau, mais sont également réfléchis par la surface intérieure en haut du tuyau lorsque le tuyau est rempli d'eau ou par la surface de l'eau lorsque le tuyau n'est rempli que partiellement. Le temps entre l'émission du signal et la réception des signaux réfléchis définit le niveau d'eau dans le tuyau.

5.4 Dispositifs de mesure de la température à la sortie du cœur

La mesure de la température du fluide de refroidissement à la sortie du cœur ou en aval de ce dernier fournit une indication directe du refroidissement correct du cœur. Les méthodes actuellement utilisées sont décrites ci-dessous.

5.4.1 Thermocouples à la sortie du cœur

Le système utilisé pour surveiller la température à la sortie du cœur au cours des opérations normales et anormales, décrit dans la CEI 60911, peut être utilisé pour la surveillance du refroidissement correct au cours des opérations de maintenance lors d'un arrêt à froid, mais il n'est pas disponible pour la surveillance au cours d'une opération de rechargement du combustible pendant un arrêt à froid.

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

a small temperature difference indicates the presence of water or a two-phase mixture, while a large difference indicates the presence of steam or air. A sensor assembly therefore indicates the presence of water or steam at the elevation at which it is installed. Sensor assemblies are installed at different elevations within the RPV upper plenum to provide multiple water level indications. The sensors are shielded by a tube with only small openings at the top and bottom ends so that the sensors measure the separated, collapsed liquid level for all flow regimes occurring in the RPV upper plenum. Sensor assemblies using either heated thermometers or thermocouples have been developed and applied both in BWRs (see IEC 61343) and in PWRs (see IEC 60911). Additional information on temperature measurements is provided in IEC 60737.

5.3 RPV outlet pipe water level measuring devices

Maintaining the appropriate water level in the RPV outlet pipe during a reduced inventory condition is essential for adequate core cooling in PWRs. Measuring the water level in the RPV outlet pipe is therefore an important core cooling indication. Two methods described below (differential pressure and ultrasonic) are currently used in PWRs. Heated sensors, located at certain selected elevations in the RPV or RPV outlet pipe, would not provide adequate accuracy for the precise control of water level during intentional reduced inventory conditions, and are not recommended for this application.

5.3.1 Differential pressure measurement

The measurement of water level in a PWR RPV outlet pipe is based on detecting the difference between the static head of the water in the RPV outlet pipe and a column of water external to the pipe when both are subject to the same total system pressure, as described for the RPV water level measurement in 5.2.1. Pressure differential transmitter range "M" in figure 3 is applicable.

5.3.2 Ultrasonic liquid level monitoring

An ultrasonic sensor is firmly attached to the bottom of the RPV outlet pipe. The sensor is used only during cold shutdown with a reduced inventory condition, and may be left in place or removed during other operating modes. Ultrasonic signals pass upward through the pipe wall and the water in the pipe. The signals are partly reflected by the inside surface at the bottom of the pipe, but are also reflected by the inside surface at the top of the pipe when the pipe is full of water, or by the water surface when the pipe is partially full. The time between signal initiation and reception of the reflected signals defines the water level in the pipe.

5.4 Core exit temperature sensing devices

Measurement of coolant temperature at, or downstream from, the core exit provides a direct indication of adequate core cooling. The methods currently used are described below.

5.4.1 Core exit thermocouples

The system used for monitoring core exit temperature during normal and abnormal operations, discussed in IEC 60911, may be used for monitoring adequate core cooling during cold shutdown maintenance operations, but is not available for monitoring during a cold shutdown refuelling operation.

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

5.4.2 Température de la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur

Les détecteurs de température installés dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur, utilisés pour surveiller la température du fluide primaire, allant de la température ambiante à la température d'exploitation, peuvent être utilisés pour la surveillance du refroidissement correct du cœur pendant les opérations de maintenance lors de l'arrêt à froid ou pendant les opérations de rechargement du combustible lors de l'arrêt à froid, si une mesure du niveau d'eau confirme que les détecteurs sont immergés dans l'eau lorsque l'inventaire en eau est réduit, et sont situés dans le flux actif de l'écoulement vers le circuit d'évacuation de la puissance résiduelle.

5.4.3 Température du système d'évacuation de la puissance résiduelle

Les capteurs de température installés dans la tuyauterie du RRA, entre le piquage sur la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur et l'entrée de l'échangeur de chaleur du RRA, peuvent être utilisés pour surveiller le refroidissement correct du cœur au cours des opérations de maintenance en arrêt à froid ou des opérations de rechargement du combustible en arrêt à froid, si le temps de réponse du signal, retardé par temps de transit entre la sortie du cœur et le détecteur, est indiqué comme étant correct.

6 Exigences relatives à l'instrumentation

6.1 Exigences générales

La conception de l'instrumentation pour la surveillance du refroidissement du cœur au cours d'un arrêt à froid doit prendre en compte les facteurs suivants, avec une attention particulière pour les exigences de surveillance du refroidissement du cœur dans les phases d'inventaire en eau réduit.

6.1.1 Classes de sûreté

Les systèmes de mesure pour la surveillance du refroidissement du cœur au cours d'un arrêt à froid, y compris lors des phases d'inventaire en eau réduit, ne sont généralement pas classés comme étant de sûreté, à moins qu'ils ne soient également utilisés pour satisfaire à d'autres exigences de sûreté.

Les exigences définies par une autorité nationale délivrant des licences doivent être révisées afin de définir la classe de ce système d'instruments. En fonction de la catégorie de sûreté, les exigences de conception telles que la redondance, la diversité, la séparation, et l'alimentation électrique, ainsi que les exigences spécifiques concernant la qualification, l'assurance de la qualité, la surveillance, la maintenance et la documentation, doivent être définies conformément à la CEI 61226.

6.1.2 Précision et temps de réponse

La précision et le temps de réponse indiqués doivent satisfaire aux exigences dictées par l'opération d'arrêt à froid et les procédures de secours qui reposent sur les indications pour un bon fonctionnement, un bon contrôle et un bon retour aux conditions normales à partir de conditions anormales telles qu'une réduction de l'inventaire en eau primaire entraînant une perte du débit du RRA en inventaire en eau réduit. La mesure du niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur doit avoir une indication analogique avec une précision et un temps de réponse adéquats afin d'empêcher la perte du débit du RRA due à un niveau d'eau réduit et un entraînement d'air dans le système RRA. Une indication soit analogique, soit digitale peut être utilisée pour satisfaire aux exigences de précision pour la mesure du niveau d'eau de la cuve du réacteur.

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

5.4.2 RPV outlet pipe temperature

Temperature detectors installed in the RPV outlet piping, used to monitor coolant temperature from ambient to operating temperature, may be used for monitoring adequate core cooling during cold shutdown maintenance operations or during cold shutdown refuelling operations, if a water level measurement confirms that the detectors are submerged in water during a reduced inventory condition, and are in the active flow path for the RHRS.

5.4.3 RHRS temperature

Temperature detectors installed in the RHRS piping between the connection to the RPV outlet pipe and the RHRS heat exchanger inlet may be used to monitor adequate core cooling during cold shutdown maintenance operations or cold shutdown refuelling operations, if the response time of the signal, delayed by the transit time from the core exit to the detector, is shown to be adequate.

6 Instrumentation requirements

6.1 General requirements

The design of instrumentation for monitoring core cooling during cold shutdown shall take account of the following factors, with particular attention directed to requirements for monitoring core cooling during reduced inventory conditions.

6.1.1 Safety classification

Measurement systems for monitoring core cooling during a cold shutdown, including a reduced inventory condition, are generally not classified as safety instrumentation, unless they are also used to fulfil other safety requirements.

The requirements defined by a national licensing authority shall be reviewed to define the classification of this instrument system. Depending on the safety category, design requirements such as redundancy, diversity, separation, and power supply, as well as specific requirements concerning qualification, quality assurance, surveillance, maintenance and documentation shall be defined in accordance with IEC 61226.

6.1.2 Accuracy and response time

Indicated accuracy and response time shall meet the requirements dictated by cold shutdown operation and emergency procedures which rely on the indications for successful operation, control and recovery from abnormal conditions, such as reduction in coolant inventory leading to a loss of RHRS flow when in a reduced inventory condition. The RPV outlet pipe water level measurement shall have an analogue indication with appropriate accuracy and response time to preclude loss of RHRS flow due to reduced water level and air entrainment into the RHRS. Either an analogue or digital indication may be used to meet the accuracy requirements for the RPV water level measurement.

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

6.1.3 Fiabilité

Le système d'instrumentation, y compris les alimentations électriques, doit être conçu pour fonctionner avec une fiabilité adéquate et pour satisfaire aux exigences spécifiées dans la conception. Ces exigences doivent comprendre, par exemple, une conception pour les conditions normales et sismiques, le cas échéant.

6.1.4 Cas d'une défaillance unique

Les dispositifs de mesure de la température et des niveaux d'eau doivent avoir la redondance adéquate pour satisfaire aux critères de défaillance unique lorsque cela s'applique.

Pour les conditions d'inventaire en eau réduit, les exigences à prendre en considération sont les suivantes :

– fournir au moins une indication de température analogique et continue, représentative des conditions à la sortie du cœur. En raison de l'effet tourbillonnaire dans la buse d'entrée du RRA, les mesures dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur doivent être représentatives des conditions à l'entrée du circuit d'évacuation de la puissance résiduelle;
– un autre moyen technique permettant d'assurer en continu durant le refroidissement du cœur la surveillance du niveau d'eau peut être utilisé pour garantir la redondance.

Pour un niveau d'eau cuve en arrêt à froid au-dessus de la sortie cœur, on doit fournir au moins deux indications, analogiques ou digitales, indépendantes et continues, du niveau d'eau dans la cuve du réacteur.

Pour toutes les conditions d'arrêt à froid, on doit fournir au moins deux indications de température indépendantes et continues représentatives des conditions à la sorties cœur.

Pour les recommandations portant sur la redondance des alimentations électriques importantes pour la sûreté, se référer à la CEI 61225, lorsque celles-ci sont applicables.

6.2 Mesure de pression différentielle

6.2.1 Transmetteurs de pression différentielle

Pour l'achat, l'installation et la maintenance des transmetteurs, les exigences données dans la CEI 60770-1, doivent s'appliquer.

Les transmetteurs doivent être placés en tenant compte d'une démarche de type ALARA.

6.2.2 Colonnes de référence

La conception de la colonne de référence et sa condition dans toutes les situations de l'installation est un facteur important, affectant la précision et la fiabilité de la mesure du niveau d'eau. Idéalement, il convient que la colonne reste à température, hauteur et masse volumique constantes.

Au cours d'un arrêt à froid, la colonne de référence n'est pas soumise aux conditions qui peuvent être imposées au cours d'un fonctionnement anormal. Ainsi, la température, la hauteur et la masse volumique restent stables. Un fonctionnement prolongé peut entraîner une réduction éventuelle de la réserve et de la hauteur de colonne de référence. Il faut faire en sorte de garantir que la colonne de référence reste pleine. Un réservoir collecteur sur la partie supérieure de la (ou des) colonne(s) de référence «4» à la figure 3 constitue une méthode permettant de minimiser l'effet de la perte de réserve de la colonne de référence. Il est possible d'utiliser également un transmetteur à action directe avec une colonne de référence purgée s'il est certain que la colonne de référence reste purgée, et que la pression de la colonne de référence est toujours identique à la pression au-dessus du niveau d'eau mesuré, au travers d'évents communs ou à l'atmosphère.

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

6.1.3 Reliability

The instrumentation system, including power supplies, shall be designed to operate with adequate reliability and meet the requirements specified in the design. These requirements shall include, for example, design for normal and seismic conditions, where applicable.

6.1.4 Single failure considerations

Temperature and water level measurement devices shall have the appropriate redundancy to meet the single failure criteria, where applicable. For reduced inventory conditions, the considerations are:

– to provide at least one continuous analogue indication of RPV outlet pipe water level. Due to vortexing at the RHRS inlet nozzle, the RPV outlet pipe measurement shall be representative of conditions at the RHRS inlet;
– another technical means that ensures the continuation of adequate core cooling may be used to provide redundant water level monitoring.

For cold shutdown level above the top of the RPV outlet pipe, at least two independent, continuous analogue or digital indications of RPV water level shall be provided.

For all cold shutdown conditions, at least two independent, continuous temperature indications that are representative of the conditions at the core exit shall be provided.

For recommendations on redundant, important-to-safety power supplies, when applicable, refer to IEC 61225.

6.2 Differential pressure measurement

6.2.1 Differential pressure transmitters

For the procurement, installation and maintenance of transmitters, the requirements given in IEC 60770-1 shall apply.

Transmitters shall be located with consideration given to ALARA.

6.2.2 Reference columns

The design of the reference column and its condition under all plant situations is a major factor affecting the accuracy and reliability of a water level measurement. Ideally, the column should remain constant in temperature, height and density.

During a cold shutdown, the reference column is not subject to the conditions that may be imposed during abnormal operation, and, therefore, the temperature, height and density remain stable. Extended operation might result in eventual reduced reference leg inventory and height. Consideration shall be given to assure that the reference column remains filled. A collection reservoir at the top of reference leg(s) "4" on figure 3 is one method of minimizing the effect of reference column inventory loss. Alternatively, a direct-acting transmitter with a drained reference column may be used if there is assurance that the reference column remains drained, and that the reference column pressure is always the same as the pressure above the water level being measured, through common or atmospheric vents.

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

Les figures 1 à 3 donnent comme exemples les transmetteurs de niveau à action inverse avec des colonnes de référence remplies.

Le dégazage des incondensables à la suite d'une dépressurisation a un effet sur la hauteur de la colonne d'eau de référence dans certaines mesures du niveau d'eau (à savoir, la colonne de référence du niveau d'eau du pressuriseur du REP) mais ne constitue pas un problème pour les mesures du niveau d'eau de la cuve du réacteur du REP, étant donné que les piquages ne sont pas connectés à des volumes de vapeur/gaz existant normalement qui entraîneraient une migration du gaz sous pression dans la colonne de référence.

6.2.3 Emplacements des piquages pour la mesure de pression différentielle

Les piquages pour la mesure de pression différentielle doivent être placés aussi près que possible du niveau d'eau à mesurer, afin de garantir que les différences de pression dans la colonne de référence et l'étendue mesurée sont dues uniquement au niveau d'eau. Cette exigence s'applique aux indications du niveau d'eau de la cuve du réacteur et à celles du niveau d'eau de la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur, mais elle est plus importante pour l'étendue inférieure et la tolérance d'erreur inférieure dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur.

Lorsque les piquages ne sont pas placés près de l'étendue mesurée, la conception des raccords entre la colonne de référence et l'étendue mesurée doit prendre en compte les points suivants:

– Piquage supérieur: Le raccord entre la partie supérieure de la colonne de référence et la partie supérieure de l'étendue mesurée doit garantir qu'aucune différence de pression ne sera créée en raison d'une purge de volumes d'air importants dans la voie de raccordement ou en raison de pièges à eau dans les lignes de raccordement.
– Piquage inférieur: Le raccord entre la partie inférieure de la colonne de référence et la partie basse de l'étendue mesurée doit garantir qu'aucune différence de pression ne sera créée (ou que les différences de pression seront prises en compte dans l'analyse de l'incertitude de mesure) en raison de conditions dynamiques dans la voie de raccordement (à savoir, des pertes à l'entrée et des gradients de niveau d'eau dus aux débits du système d'évacuation de puissance résiduelle) ou en raison de différences induites par la température entre la masse volumique dans la colonne de référence ou dans les sections verticales du piquage. La figure 4 illustre les conditions thermiques et dynamiques qui peuvent exister entre le piquage et le point mesuré, y compris les changements d'impulsion du fluide, les différences de densité, et les changements de vitesse, en particulier dans le piquage du système RRA.

Les figures 1 et 2 montrent les emplacements de raccordement recommandés pour la surveillance du niveau d'eau avec les mesures de la pression différentielle dans les REP, montrant les piquages aussi près que possible de l'étendue mesurée afin de minimiser les erreurs de mesure. Pour l'application des transmetteurs à action directe présentée en 6.2.2, le robinet supérieur peut être placé dans toute pièce de l'enceinte sous pression du système de refroidissement du réacteur, telle que la partie supérieure de la cuve du réacteur ou le pressuriseur, si les exigences ci-dessus, relatives aux pressions normales et aux pièges à eau, sont satisfaites.

6.2.4 Installations de la ligne d'instrumentation hydraulique

– Toutes les lignes d'instrumentation doivent être autopurgées et, en général, doivent être tracées avec une pente supérieure ou égale à 1 sur 12, sauf dispositions spéciales pour la purge et le remplissage. Lorsque des lignes d'instruments soudées sont utilisées, elles doivent être utilisées à l'horizontale pour éviter le besoin de compensation de densité dû aux différences de température des lignes d'instrumentation longues et inclinées.
– Les lignes d'instrumentation doivent être d'un diamètre suffisant pour faciliter la purge de l'air et le remplissage.

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

Figures 1 through 3 reflect reverse acting level transmitters with filled reference columns as examples.

The release of non-condensable gases following depressurization affects reference column height in some water level measurements (for example, the PWR pressurizer water level reference column) but is not a concern for PWR RPV water level measurements since the taps are not connected to normally existing steam/gas volumes that would result in pressurized gas migration into the reference column.

6.2.3 Differential pressure tap locations

Differential pressure taps shall be located as close as possible to the water level span being measured, to ensure that differences in pressure at the reference column and measured span are due only to the water level. This requirement applies to both the RPV water level and RPV outlet pipe water level indications, but is most important for the smaller span and smaller error allowance in the RPV outlet pipe.

When taps are not near the measured span, the design of the connections between reference column and measured span shall consider the following:

– Upper tap: The connection between the top of the reference column and the top of the measured span shall assure that no pressure differences develop due to air venting from large volumes in the connecting path, or due to water traps in the connecting lines.

– Lower tap: The connection between the bottom of the reference column and the bottom of the measured span shall assure that no pressure differences develop (or that pressure differences are considered in the measurement uncertainty analysis) due to dynamic conditions in the connecting path (for example, entrance losses and water level gradients due to RHRS flows) or due to temperature-induced differences in density between the reference column or vertical sections of the connecting path. Figure 4 illustrates thermal and dynamic conditions that may exist between the connection and the measured span, including fluid momentum changes, density differences, and velocity changes, especially at the RHRS connection.

Figures 1 and 2 show recommended connection locations for water level monitoring with differential pressure measurements in PWRs, showing taps as close as possible to the measured span to minimize measurement errors. For the application of direct-acting transmitters discussed in 6.2.2, the upper tap may be located in any part of the RCS pressure boundary such as the top of the RPV or the pressurizer if the above requirements on common pressures and water traps are met.

6.2.4 Hydraulic instrument line installations

– All instrument lines shall be self-draining and, in general, be run with a slope of not less than 1 in 12 unless special provisions are made for venting and filling. Where sealed instrument lines are employed, the lines shall be run horizontally to avoid the need for density compensation due to temperature differences of long, sloped instrument lines.

– Instrument lines shall be of sufficient diameter to facilitate venting and filling.

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

– Les lignes d'instrumentation ne doivent pas être utilisées pour supporter le poids des manomètres, des robinets, etc. Ces éléments doivent être soutenus par des tuyaux en acier, des manchons, des raccords ou des supports convenables.

– Lorsque cela est possible, les supports des lignes d'instruments doivent être exempts de structures ou d'équipements vibrants.

– Les lignes d'instruments doivent être soutenues de manière convenable et fixées à des distances minimales spécifiées pour supporter les vibrations et les événements sismiques spécifiés.

– Les lignes d'instruments flexibles sont parfois utilisées pour un découplage sismique. Il faut prendre en compte le fait que les vibrations de fonctionnement normal des lignes flexibles peuvent amplifier le bruit du signal du processus et dégrader la mesure.

– L'installation doit prendre en compte la dilatation thermique dans les lignes d'instrumentation et leurs supports en conditions normales et d'accident.

– Dans la conception des supports, la dilatation thermique de la cuve du réacteur et de la tuyauterie doit être prise en compte.

6.2.5 Température des lignes d'instrumentation hydraulique

Les différences de température entre les sections verticales des lignes d'instrumentation et l'étendue du niveau d'eau mesurée introduisent des erreurs dans le niveau d'eau indiqué. Au cours des opérations d'arrêt à froid, ces différences de température sont minimales, mais doivent être prises en compte dans l'analyse de l'incertitude de mesure. Si l'analyse ne peut pas démontrer que les erreurs sont acceptables, les différences de masse volumique doivent être corrigées par des mesures de température sur les lignes d'instrumentation verticales en question.

6.2.6 Type et qualité du fluide dans les lignes d'instruments

Le fluide dans les lignes d'instruments doit être de l'eau de qualité pour réacteur.

Lorsqu'on utilise des lignes d'instrumentation soudées contenant d'autres types de fluides pour la transmission de la pression du réacteur au transmetteur, le risque de polluer l'eau du réacteur avec des fluides provenant de ce type d'équipement doit être pris en compte.

6.3 Mesure par thermocouple chauffé

Les exigences pour le thermocouple chauffé décrit en 5.2.2 sont les suivantes:

– le dispositif doit fournir un signal de sortie qui différencie les sorties lorsque le dispositif est couvert d'eau ou non;

– un signal d'alarme doit être émis si le signal indique que le dispositif n'est pas couvert.

Des thermocouples chauffés placés à des élévations présélectionnées dans la cuve du réacteur ou à la sortie du cœur ne peuvent pas être utilisés pour satisfaire au 5.3, car ils ne fournissent pas la précision nécessaire au contrôle fin du niveau d'eau pour les conditions d'inventaire en eau réduit.

6.4 Mesure du niveau d'eau par ultrasons

6.4.1 Application

La surveillance par ultrasons du niveau de liquide est considérée comme pratique uniquement pour la mesure du niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur. Les capteurs à ultrasons doivent être solidement fixés à la partie inférieure de la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur, près du piquage du RRA. La fixation doit être conçue pour minimiser les réflexions acoustiques à l'interface entre le capteur et la paroi du tuyau.

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

– Instrument lines shall not be used to carry the weight of pressure gauges, valves, etc.; these items shall be supported by steel piping, nipples, fittings or suitable brackets.
– Wherever possible, instrument line supports shall be kept free from vibrating structures or equipment.
– Instrument lines shall be adequately supported and fixed at specified minimum distances to withstand vibration and specified seismic events.
– Flexible instrument lines are sometimes used for seismic decoupling. Consideration shall be given to the fact that normal operating vibration of flexible lines can amplify process signal noise and degrade the measurement.
– The installation shall take into consideration thermal expansion in the instrument lines and their supports during normal and accident conditions.
– In the design of the supports, the thermal expansion of the RPV and piping shall be considered.

6.2.5 Hydraulic instrument line temperature

Differences in temperature between vertical sections of instrument lines and the measured water level span will introduce errors in the indicated water level. During cold shutdown operations, these temperature differences are minimal, but shall be considered in the measurement uncertainty analysis. If analysis cannot show that the errors are acceptable, density differences shall be corrected by temperature measurements on the vertical instrument lines in question.

6.2.6 Type and quality of the fluid in the instrument lines

The fluid in the instrument lines shall be water of reactor quality.

When sealed instrument lines containing other types of fluid for pressure transmission from the reactor to the transmitter are used, the risk of polluting reactor water with fluids from this type of equipment shall be considered.

6.3 Heated sensor measurement

Requirements for the heated sensor described in 5.2.2 are the following:

– the device shall provide an output signal that differentiates between the outputs when the device is covered with water or uncovered;
– an alarm shall be initiated if the signal indicates that the device is uncovered.

Heated sensors located at selected elevations only in the RPV or RPV outlet pipe shall not be used for the application in 5.3 since they do not provide adequate accuracy for the precise control of water level during reduced inventory conditions.

6.4 Ultrasonic liquid level measurement

6.4.1 Application

Ultrasonic monitoring of liquid level is considered to be practical only for the measurement of the RPV outlet pipe water level. The ultrasonic sensors shall be securely attached to the bottom of the RPV outlet pipe, near the connection to the RHRS. The attachment shall be designed to minimize acoustic reflections at the interface between sensor and pipe wall.

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

6.4.2 Précision et temps de réponse

Le temps de réponse doit être assez rapide pour être la première indication disponible d'une réduction du niveau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur, bien avant d'autres indications de refroidissement anormal du cœur telles que le débit de la (ou des) pompe(s) du RRA ou des hausses de température du fluide primaire. Les exigences de précision doivent prendre en compte

– le niveau minimal requis dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur pour les opérations de maintenance;

– le débit maximal du RRA requis pour éliminer la puissance résiduelle maximale supposée au cours de la maintenance et l'étendue du vortex à ce débit maximal.

6.4.3 Questions relatives à l'installation

Il convient d'installer des capteurs de niveau à ultrasons de manière temporaire de sorte qu'un gel puisse être utilisé à l'interface capteur-tuyau pour éliminer la possibilité qu'un entrefer gêne le signal de transmission acoustique. Les capteurs doivent être placés sur les tuyaux de sortie de la cuve du réacteur dans un tronçon de la tuyauterie de sortie où le niveau n'est pas affecté par le vortex à l'aspiration du RRA. Il convient que les capteurs soient placés dans le tronçon du tuyau de sortie entre la cuve du réacteur et la buse d'aspiration du RRA étant donné que le niveau dans ce tronçon est légèrement inférieur à celui dans les autres tronçons.

6.4.4 Questions spéciales relatives à l'interface homme-machine

Une indication analogique du niveau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur doit être fournie. Le niveau requis dans la tuyauterie de sortie étant fonction du débit d'aspiration de la (ou des) pompe(s) du circuit d'évacuation de la puissance résiduelle, une corrélation du débit du RRA et du niveau requis doit être disponible dans la salle de commande et peut faire partie intégrante de la visualisation de l'interface homme-machine.

6.5 Dispositifs de mesure de température

Les exigences spécifiques formulées dans le présent paragraphe s'appliquent à tous les dispositifs de mesure mentionnés en 5.3.

Les capteurs de température doivent être immergés dans la voie active de débit pour l'évacuation de la puissance produite dans le cœur, en prenant en compte le retard dû à la circulation entre le cœur et le capteur par rapport au temps de réponse requis. L'instrumentation utilisée pour la mesure de niveau pour les conditions d'inventaire en eau réduit doit confirmer que les capteurs de température redondants sont immergés.

7 Traitement des données

La conception du traitement des données doit tenir compte de la CEI 60880 et de la CEI 60987 si les mesures sont classées de sûreté.

8 Présentation de l'information

Les exigences données dans la CEI 60964 et la CEI 61227 s'appliquent. La conception de l'affichage de l'instrumentation doit prendre en compte notamment les facteurs suivants:

– étendue de mesure et sensibilité adaptées;

– analyse des besoins et des procédures demandant des gammes de mesure élargies pour des conditions spéciales de fonctionnement;

– repérage, par exemple par identification ou un code de couleurs;

– temps de réponse;

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

6.4.2 Accuracy and time response

The time response shall be fast enough to be the first available indication of a reduction in inventory in the RPV outlet pipe, well in advance of other degraded core cooling indications such as RHRS pump(s) current or increases in reactor coolant temperature. The accuracy requirements shall consider

– the minimum level required in the RPV outlet pipe for maintenance operations;
– the maximum RHRS flow required to remove the maximum postulated residual heat during maintenance and the extent of the vortex at this maximum flow.

6.4.3 Installation considerations

Ultrasonic level sensors should be temporarily installed so that a gel can be used at the sensor-pipe interface to eliminate the possibility of an air gap that would affect the acoustic transmission signal. Sensors shall be located on the RPV outlet pipes in a section of the outlet pipe where the level is not affected by the RHRS suction nozzle vortex. Sensors should be located in the section of outlet pipe between the RPV and the RHRS suction nozzle since the level in this section is slightly lower than in other sections.

6.4.4 Special human machine considerations

An analogue indication of level in the RPV outlet pipe shall be provided. Since the required level in the outlet pipe is a function of the RHRS pump(s) suction nozzle flow rate, a correlation of the RHRS flow rate and the required level shall be available in the control room and may be an integral part of the human machine interface display.

6.5 Temperature sensing devices

The specific requirements formulated in this subclause apply to all measuring devices mentioned in 5.3.

Temperature sensors shall be submerged in the active flow path for removal of heat from the core, taking into consideration the transport delay from the core to the sensor relative to the required response time. Level measurement instrumentation used during reduced inventory conditions shall confirm that the redundant temperature sensors are submerged.

7 Data processing

The design of data processing shall take into consideration IEC 60880 and IEC 60987 as long as the measurements are safety classified.

8 Presentation of information

The requirements given in IEC 60964 and IEC 61227 are applicable. The design of the instrumentation display shall consider the following factors in particular:

– adequacy of the measuring range and of the sensitivity;
– recognition of the needs and procedures requiring an extension of the range of display under special operational situations;
– identification, for example designation and colour coding;
– response time;

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

– interface homme-machine, par exemple le type d'affichage (numérique/analogique, synoptique, enregistreur, instruments ou voyants de contrôle);
– validité des signaux dans les conditions normales et en cas de panne;
– formation de l'opérateur à l'interprétation de l'information et de sa validité.

Il convient que l'instrumentation soit conçue pour faciliter le repérage, la localisation, le remplacement, la réparation ou le réglage des éléments ou modules défaillants.

Il convient que la conception de l'instrumentation de surveillance minimise l'apparition de conditions pouvant entraîner des indications anormales des indicateurs, panneaux de signalisation, enregistreurs, alarmes, etc., susceptibles d'induire en erreur l'opérateur. Il convient d'utiliser l'analyse des facteurs humains pour déterminer le type et l'emplacement des affichages.

Dans la mesure du possible, il convient d'utiliser les mêmes instruments pour la surveillance de l'arrêt à froid que ceux qui sont employés dans les conditions normales de fonctionnement et en cas d'accident afin de permettre aux opérateurs d'utiliser, lors des arrêts froids, les instruments qu'ils connaissent le mieux.

9 Vérification et étalonnage

Un étalonnage initial doit être effectué avant l'installation conformément aux exigences données dans les réglementations nationales. Des contrôles d'étalonnage supplémentaires doivent être réalisés périodiquement.

10 Contrôle en service et maintenance

Les appareils de surveillance doivent être conçus et installés de manière qu'il soit possible de contrôler, avant utilisation et à intervalles réguliers, qu'ils fonctionnent selon les performances spécifiées. Les caractéristiques de conception doivent être incluses afin de faciliter l'étalonnage requis (voir article 9), les contrôles de routine des performances et tout autre contrôle afin de satisfaire aux exigences définies pour garantir le bon fonctionnement des appareils de surveillance.

Lorsque le niveau d'exposition radiologique durant le contrôle en service ou la maintenance est important, celui-ci doit être pris en compte à la conception afin de réduire les doses suivant le principe ALARA.

11 Qualification

Si l'instrumentation est utilisée afin de satisfaire aux exigences de sûreté, elle doit être qualifiée conformément à la CEI 60780. La qualification s'applique à l'ensemble de la ligne de mesure, depuis le capteur jusqu'à l'afficheur, que ce dernier soit un appareil de mesure direct ou un dispositif d'enregistrement. Si la ligne de mesure comprend un équipement à microprocesseur, la CEI 60880 et la CEI 60987 doivent s'appliquer.

La qualification sismique doit être conforme à la CEI 60980. Les éléments du système faisant partie de l'enceinte sous pression doivent respecter les exigences sismiques relatives à cette enceinte. Le système de mesure doit continuer à fonctionner avec la précision requise après un tremblement de terre.

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

– human-machine interface, for example type of displays (digital/analogue, mimic diagram, recorder, panel instruments or indicators);
– validity of signals in normal and fault conditions;
– operator training in the interpretation of information and its validity.

The instrumentation should be designed to facilitate the recognition, location, replacement, repair or adjustment of malfunctioning components or modules.

The monitoring instrumentation design should minimize the development of conditions that could cause meters, annunciators, recorders, alarms, etc. to give anomalous indications potentially confusing the operator. Human factors analysis should be used in determining type and location of displays.

Where possible, the same instruments should be used for cold shutdown monitoring as are used for normal operations and accident conditions to enable operators to use, during cold shutdowns, instruments with which they are most familiar.

9 Verification and calibration

An initial calibration shall be performed prior to installation according to the requirements of national regulations. Further calibration tests shall be carried out periodically.

10 In-service testing and maintenance

The monitors shall be designed and installed so that it is possible to check, prior to use and at regular intervals, that they are functioning in accordance with their specified performance. Design features shall be incorporated to facilitate the required calibration (see clause 9), routine performance checks and any other testing to meet requirements defined to ensure proper functioning of the monitors.

Where a radiological dose burden is incurred during in-service testing or maintenance, design features shall be introduced to reduce the dose in accordance with the ALARA principles.

11 Qualification

If the instrumentation is used to meet safety requirements, it shall be qualified in accordance with IEC 60780. Qualification applies to the complete instrumentation channel from sensor to display where the display is a direct indicating meter or recording device. If the instrumentation channel includes microprocessor based equipment, IEC 60880 and IEC 60987 shall apply.

The seismic qualification shall be in accordance with IEC 60980. System components that are part of the pressure boundary shall meet pressure boundary seismic requirements. The measuring system shall function within the required accuracy after an earthquake.

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

12 Documentation

La conception ainsi que l'historique du fonctionnement de l'instrumentation doivent être documentés. La documentation doit contenir les calculs, rapports, dessins techniques, documents de qualification, feuilles d'étalonnage, rapports de panne, etc. La documentation doit toujours donner l'état réel de l'équipement et son historique.

Les articles correspondant de la CEI 60780, de la CEI 60880 et de la CEI 60987 doivent s'appliquer.

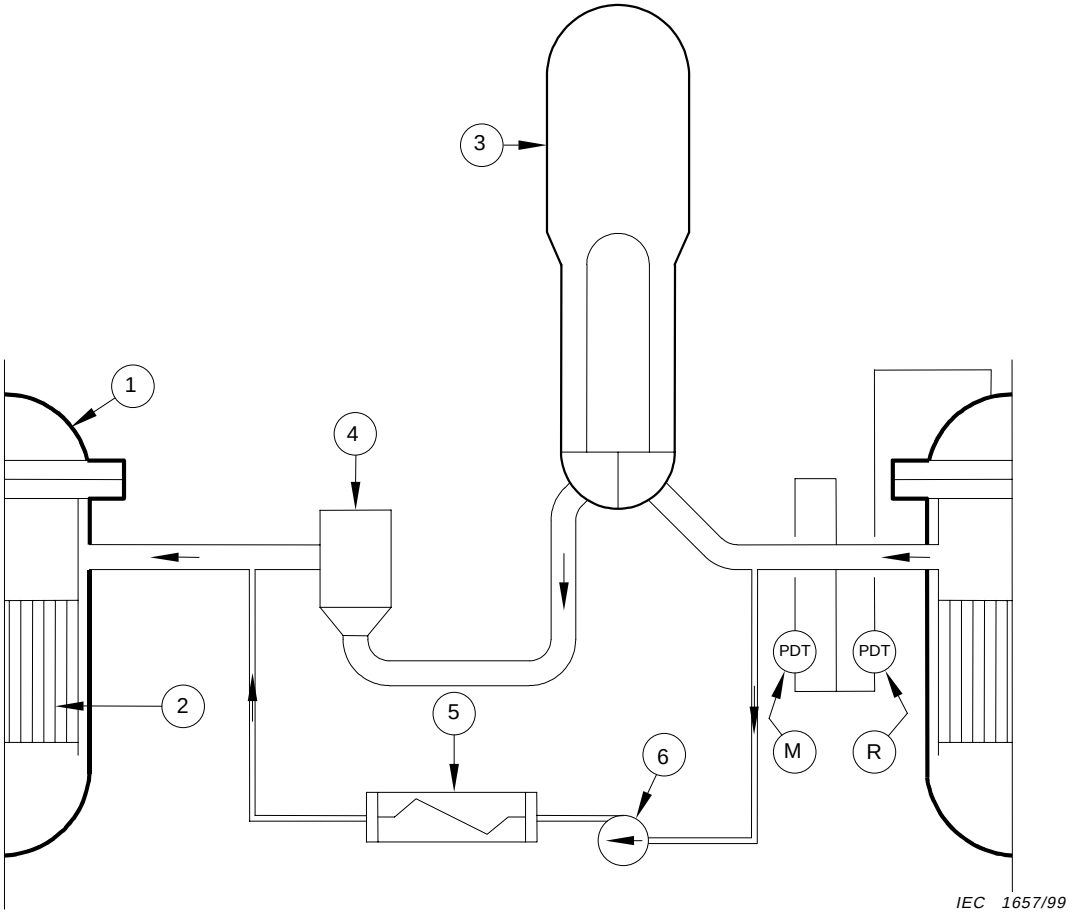
LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

12 Documentation

The design as well as the operating history of the instrumentation shall be documented. The documentation shall contain calculations, reports, drawings, qualification documents, calibration sheets, fault reports, etc. The documentation shall always show the actual status of the equipment and its history.

The relevant clauses of IEC 60780, IEC 60880 and IEC 60987 shall apply.

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



Légende

1 Cuve du réacteur

2 Cœur du réacteur

3 Générateur de vapeur

4 Pompe primaire

5 Echangeur du circuit RRA

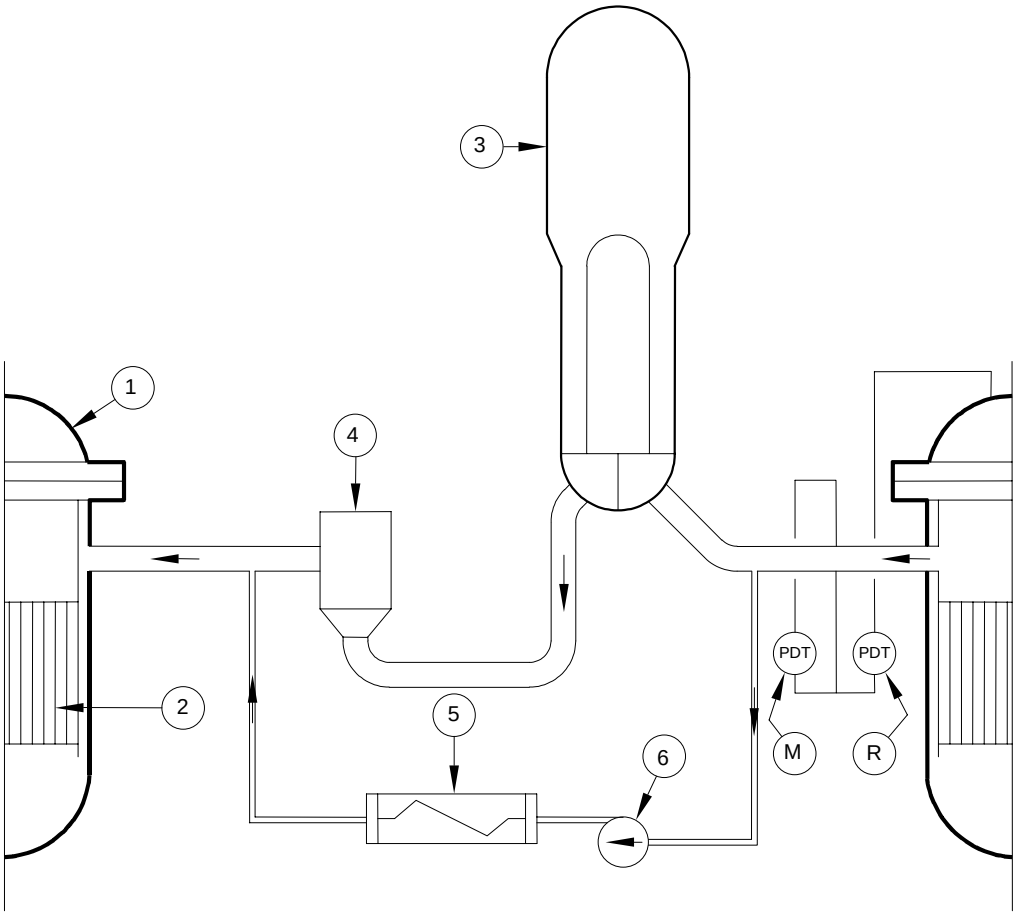
6 Pompe du circuit RRA

R Mesure Δp du niveau d'eau dans la cuve du réacteur

M Mesure Δp du niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur

Figure 1 – Configuration de REP: Générateurs de vapeur à tube en U vertical

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



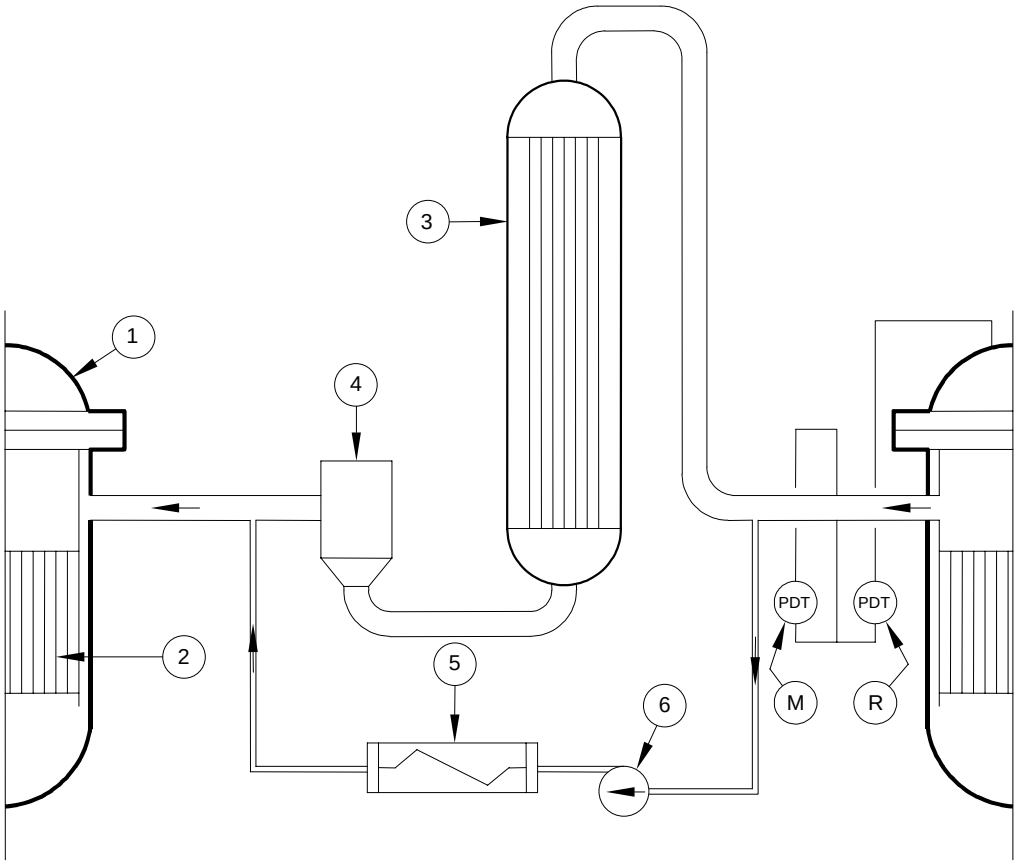
IEC 1657/99

Key

1	Reactor pressure vessel (RPV)
2	Reactor core
3	Steam generator
4	Reactor coolant pump
5	Residual heat exchanger
6	Residual heat removal pump
R	RPV water level Δp measurement
M	RPV outlet pipe water level Δp measurement

Figure 1 – PWR configuration: Vertical U-tube steam generators

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



IEC 1658/99

Légende

1 Cuve du réacteur

2 Cœur du réacteur

3 Générateur de vapeur

4 Pompe primaire

5 Echangeur du circuit RRA

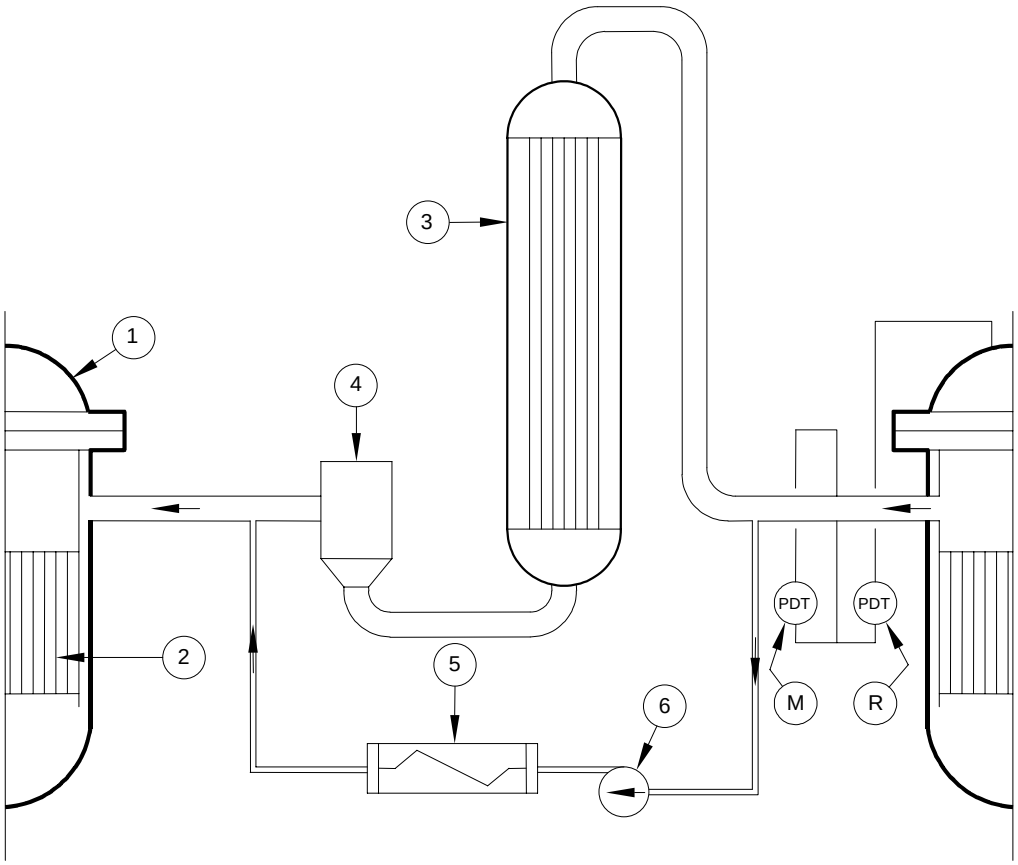
6 Pompe du circuit RRA

R Mesure Δp du niveau d'eau dans la cuve du réacteur

M Mesure Δp du niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur

Figure 2 – Configuration de REP: Générateurs de vapeur à eau surchauffée

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

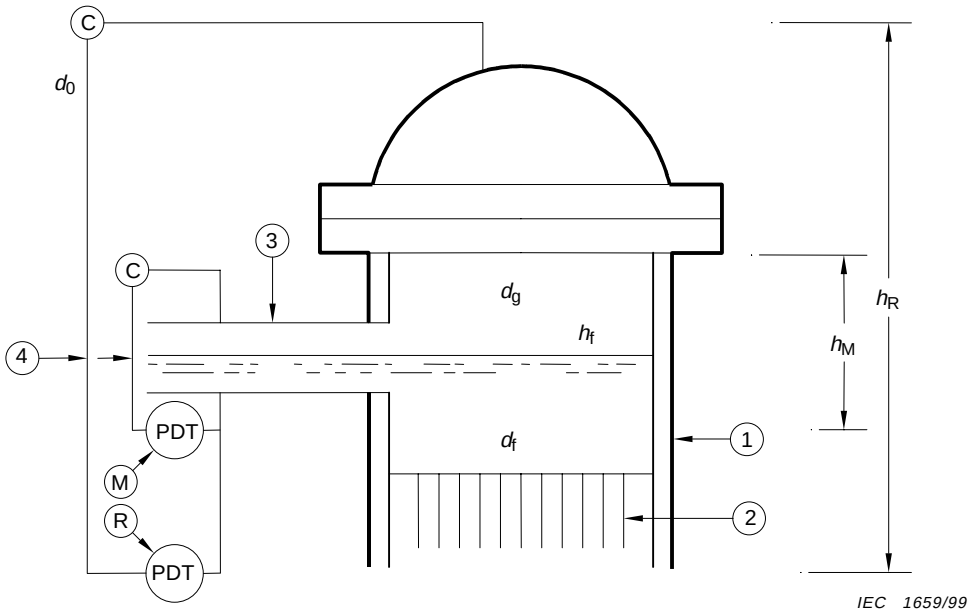


Key

1	Reactor pressure vessel (RPV)
2	Reactor core
3	Steam generator
4	Reactor coolant pump
5	Residual heat exchanger
6	Residual heat removal pump
R	RPV water level Δp measurement
M	RPV outlet pipe water level Δp measurement

Figure 2 – PWR configuration: Superheat steam generators

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

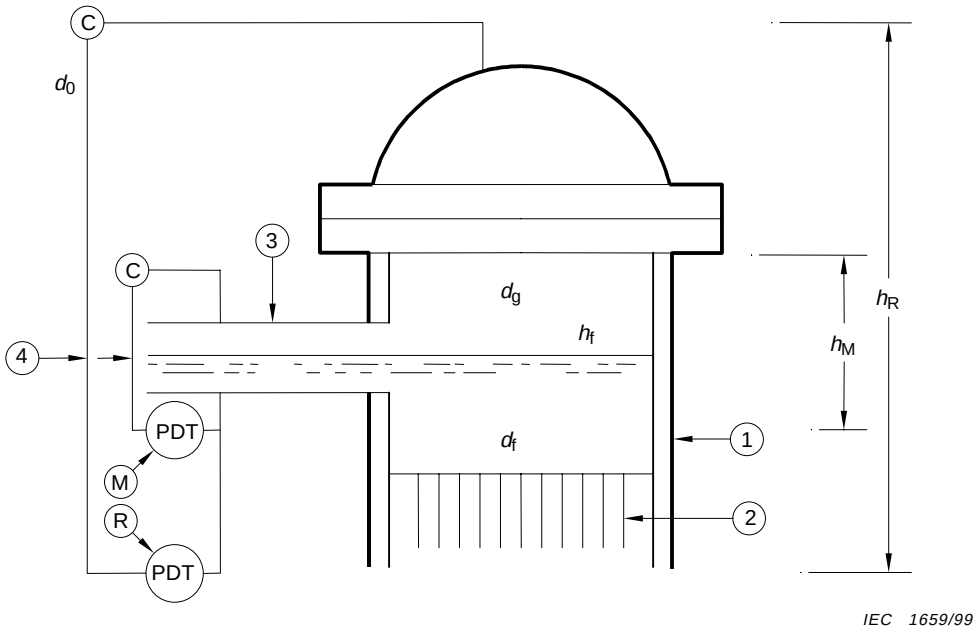


Légende

1	Cuve du réacteur
2	Cœur du réacteur
3	Tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur
4	Colonnes de référence des étendues de mesure h_M et h_R
R	Mesure Δp du niveau d'eau dans la cuve du réacteur
M	Mesure Δp du niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur
C	Réservoir collecteur (optionnel)
Δp =	$gd_0h - g[d_fh_f + d_g\,(h - h_f)]$ ou $\Delta p = gd_0h - g[d_fh_f]$
Δp	Pression différentielle dans le transmetteur
d_0	Densité de fuite (eau) de la colonne de référence à la température régnant dans la colonne de référence
h	Hauteur de l'étendue de mesure
d_f	Densité de l'eau dans la cuve
h_f	Hauteur réelle de l'eau dans la cuve comparée aux points de référence R et M (niveau d'eau critique si des vides sont présents)
d_g	Densité de la vapeur dans la cuve
g	Accélération de la pesanteur

Figure 3 – Mesure du niveau d'eau par la méthode de pression différentielle

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

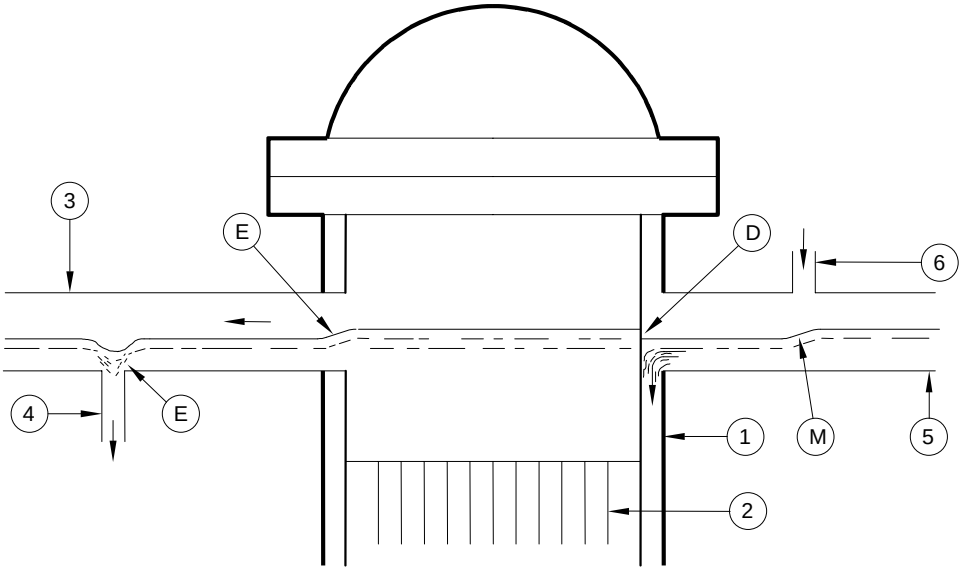


Key

1	Reactor pressure vessel (RPV)
2	Reactor core
3	RPV outlet pipe
4	Reference legs of spans h_M and h_R
R	RPV water level Δp measurement
M	RPV outlet pipe water level Δp measurement
C	Collection vessel (optional)
Δp =	$gd_0h - g[d_fh_f + d_g\,(h - h_f)]$ or $\Delta p = gd_0h - g[d_fh_f]$
Δp	Differential pressure across transmitter
d_0	Density of reference leg fluid (water) at reference leg temperature
h	Height of measurement span
d_f	Density of water in vessel
h_f	Actual height of water in vessel compared to transmitters R and M reference points (collapsed water level if voids present)
d_g	Density of steam in vessel
g	Gravity acceleration

Figure 3 – Water level measurement by differential pressure method

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

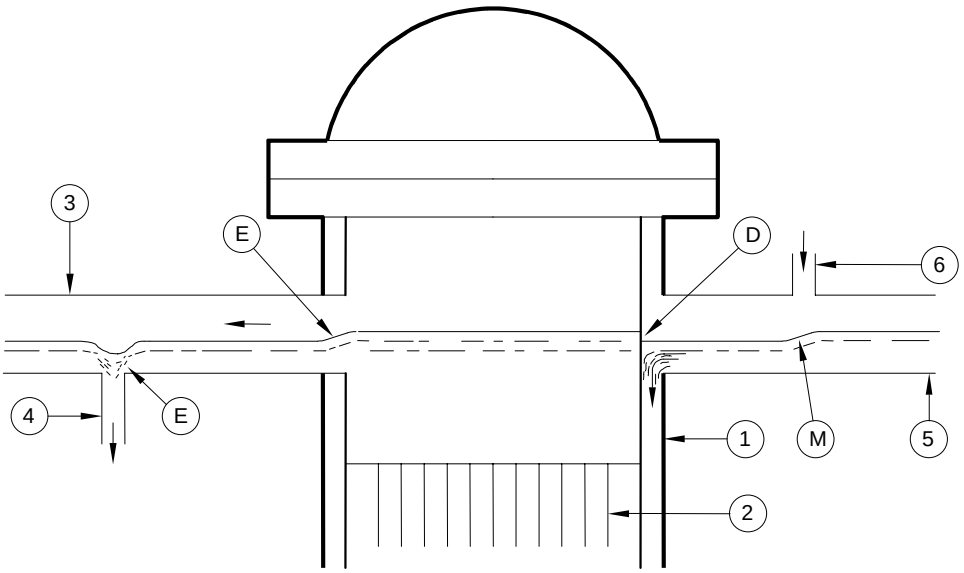


Légende

1 Cuve du réacteur
2 Cœur du réacteur
3 Tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur
4 Tuyauterie d'entrée du système d'élimination de la chaleur résiduelle
5 Tuyauterie d'entrée de la cuve du réacteur
6 Tuyauterie de retour du système d'élimination de la chaleur résiduelle
D Différence de densité
E Perte à la sortie; augmentation de la vitesse
M Modification de la qualité du mouvement

Figure 4 – Etudes thermohydrauliques influençant les mesures du niveau d'eau

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



Key

1	Reactor pressure vessel (RPV)
2	Reactor core
3	Reactor pressure vessel outlet pipe
4	Residual heat removal inlet pipe
5	Reactor pressure vessel inlet pipe
6	Residual heat removal return pipe
D	Density difference
E	Exit losses; velocity increase
M	Momentum change

Figure 4 – Thermal-hydraulic considerations affecting water level measurements

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

Annexe A
(informative)

Evénements de perte de refroidissement du cœur en arrêt à froid dans les REP

Le refroidissement correct du cœur doit être maintenu dans toutes les conditions de fonctionnement de la centrale, y compris en arrêt à froid. Les opérateurs de l'installation doivent disposer d'informations fiables confirmant que le refroidissement du cœur est correct. Des informations non fiables peuvent entraîner une interruption du refroidissement du cœur, une condition survenue dans plusieurs REP. Ces événements conduisent en général à une hausse de la température du fluide de refroidissement et à une température proche de l'ébullition, jusqu'à restauration du refroidissement. La plupart de ces événements sont résumés dans le système international de rapport des incidents (IRS) qui a été mis en place peu de temps après l'accident survenu à l'unité 2 de Three Mile Island en 1979. Une sélection d'événements survenus entre 1978 et 1990 est présentée dans le tableau A.1.

Tableau A.1 – Liste d'événements sélectionnés entre 1978 et 1990

Date	Centrale/Pays	Référence	Hausse de température °C	Incident
8/78	Neckarwestheim Allemagne	GRS-A-2336	1,5	Perte d'alimentation électrique pendant 20 min
8/79	Neckarwestheim Allemagne	GRS-A-2336	1,5	Perte d'alimentation électrique pendant 20 min
4/80	Davis-Besse Etats-Unis	IRS 0030.02	6	Perte de débit et perte de fluide de refroidissement par des soupapes ouvertes
4/80	Bugey 3 France	IRS 0019	10	Défaillance des soupapes de commande dans le circuit RRA
4/80	Davis-Besse Etats-Unis	IRS 0030	55	Perte d'alimentation électrique pendant 150 min
3/81	Beaver Valley 1 Etats-Unis	IRS 0238.G1	39	Défaillance de la mesure du niveau de liquide au cours du fonctionnement à mi-boucle
8/84	Arkansas Etats-Unis	IRS 0492	36	Défaillance de l'instrumentation au cours du fonctionnement à mi-boucle
3/86	San Onofre Etats-Unis	IRS 0708	50	Défaillance de l'instrumentation au cours du fonctionnement à mi-boucle
7/86	Waterford Etats-Unis	IRS 0749	48	Modifications prohibées de la procédure de maintenance
11/87	Bugey 2 France	IRS 0981	21	Perte de fluide de refroidissement au cours du fonctionnement à mi-boucle
5/88	Salem 1 Etats-Unis	IRS 1056	17	Pénétration de gaz inerte provenant d'un accumulateur
9/88	Trillo 1 Espagne	IRS 0954	5	Alimentation électrique auxiliaire indisponible pour le circuit RRA
9/88	Vogtle 1 Etats-Unis	IRS 1088.02	26	Perte d'alimentation électrique auxiliaire pendant 36 min
5/90	Ringhals 2 Suède	IRS 1100.02	5	Blocage de pompe dans le circuit de refroidissement de la piscine de stockage du combustible
9/90	Almaraz 1 Espagne	IRS 1186	30	Une soupape fermée ne s'est pas ouverte

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

Annex A
(informative)

Loss of core cooling events during cold shutdown at PWRs

Adequate core cooling shall be maintained during all plant operating conditions, including cold shutdowns. Plant operators shall have reliable information to confirm that core cooling is adequate. Unreliable information can result in an interruption of core cooling, a condition that has occurred at several PWRs. These events generally lead to an increase in coolant temperature and an approach to boiling, until cooling can be restored. Most of these events are summarized in the international incident reporting system (IRS), which was established soon after the accident at Three Mile Island Unit 2 in 1979. A selection of events which occurred between 1978 and 1990 is summarized in table A.1.

Table A.1 – List of selected events between 1978 and 1990

Date	Plant/Country	Reference	Temperature rise °C	Incident
8/78	Neckarwestheim Germany	GRS-A-2336	1,5	Loss of power for 20 min
8/79	Neckarwestheim Germany	GRS-A-2336	1,5	Loss of power for 20 min
4/80	Davis-Besse USA	IRS 0030.02	6	Loss of flow and loss of coolant through open valves
4/80	Bugey 3 France	IRS 0019	10	Control valve disturbance in RHRS
4/80	Davis-Besse USA	IRS 0030	55	Loss of power for 150 min
3/81	Beaver Valley 1 USA	IRS 0238.G1	39	Disturbance in the liquid level measurement during mid-loop operation
8/84	Arkansas USA	IRS 0492	36	Disturbance in instrumentation during mid-loop operation
3/86	San Onofre USA	IRS 0708	50	Disturbance in instrumentation during mid-loop operation
7/86	Waterford USA	IRS 0749	48	Prohibited procedure changes for maintenance
11/87	Bugey 2 France	IRS 0981	21	Loss of coolant during mid-loop operation
5/88	Salem 1 USA	IRS 1056	17	Ingress of inert gas from accumulator
9/88	Trillo 1 Spain	IRS 0954	5	Unavailable auxiliary power for RHRS
9/88	Vogtle 1 USA	IRS 1088.02	26	Loss of auxiliary power for 36 min
5/90	Ringhals 2 Sweden	IRS 1100.02	5	Pump blockage in RHRS of the fuel storage tank
9/90	Almaraz 1 Spain	IRS 1186	30	Closed valve did not open

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

Annexe B
(informative)

Etats de fonctionnement de la centrale

Au cours de l'arrêt à chaud et à froid de l'installation, plusieurs phases de fonctionnement de la centrale et plusieurs configurations de système sont employées, le refroidissement du cœur étant assuré par différents systèmes. Les modes de fonctionnement de la centrale ont été définis pour représenter ces phases et ces configurations de système. Une définition supplémentaire de ces modes a été fournie dans l'analyse de niveau 1 de la tranche 1 de Surry. (Voir NUREG/CR-6144; «Evaluation des accidents graves potentiels au cours du fonctionnement à faible puissance et de l'arrêt de la tranche 1 de Surry; Analyse de la fréquence d'endommagement du cœur par des événements internes au cours du fonctionnement en demi-boucle». Rapport préparé pour l'USNRC par le BNL, juin 1994.) Différents arrêts de service de l'installation ont été pris en compte. Chaque arrêt est caractérisé par un numéro d'état de fonctionnement de la centrale (POS), le temps passé dans chaque état de fonctionnement de la centrale (une variable déterminée à partir des rapports d'exploitation de l'installation), et les activités menées dans cet état de fonctionnement. L'arrêt pour rechargement du combustible, par exemple, est caractérisé par 15 états de fonctionnement de la centrale, indiqués au tableau B.1. Le système de refroidissement ou le procédé employé pour chaque état est également indiqué.

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

Annex B
(informative)

Plant operating states

During plant hot and cold shutdown, various plant operating phases and system configurations are employed, with core cooling provided by different systems. Plant operating modes have been defined to represent these phases and system configurations. Additional definition of these modes was provided in the level 1 analysis for Surry Unit 1. (See NUREG/CR-6144; "Evaluation of Potential Severe Accidents During Low Power and Shutdown Operations at Surry Unit 1; Analysis of Core Damage Frequency from Internal Events During Mid-Loop Operations", Prepared for the USNRC by BNL, June 1994.) Different plant outages were considered. Each outage is characterized by a number of plant operating states (POS), the time spent in each POS (a variable determined from plant operating records), and the activities carried out in that POS. The refuelling outage, for example, is characterized by 15 POSs as listed below. The cooling system or the process employed for each state is also indicated.

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

Tableau B.1 – Etats de fonctionnement durant l'arrêt pour rechargement de la tranche de Surry 1

Etat de fonctionnement de la centrale	Système de fonctionnement	Définition	Température °C	Système de refroidissement[1)]
1	Faible puissance	Arrêt à chaud	290	P E R A S F
2	Arrêt	Refroidissement avec GV (générateur de vapeur)	94	P E R A S F
3	Arrêt	Refroidissement avec système d'évacuation de la puissance résiduelle	94	P E R A S F
4	Arrêt	Refroidissement avec système d'évacuation de la puissance résiduelle	Ambiante	P R A S F
5	Arrêt	Vidange à mi-boucle		R
6	Mi-boucle	Mi-boucle		R
7	Rechargement du combustible	Remplissage de la piscine du réacteur		R
8	Rechargement du combustible	Rechargement du combustible		R
9	Rechargement du combustible	Vidange jusqu'à mi-boucle		R
10	Rechargement du combustible	Fonctionnement à mi-boucle après rechargement du combustible		R
11	Démarrage	Remplissage du primaire		R A
12	Démarrage	Chauffage du primaire, éventage		P E R A S F
13	Démarrage	Chauffage du primaire avec les pompes primaires	94	P E R A S F
14	Démarrage	Démarrage du réacteur sur les GV	260	P E R A S F
15	Démarrage	Démarrage du réacteur et fonctionnement à faible puissance		P E R A S F

[1)] Systèmes de refroidissement:

P Pompes primaires

E Circuit de refroidissement de secours à haute pression

R Circuit d'évacuation de la puissance résiduelle

A Accumulateurs

S Vannes de décharge des générateurs de vapeur

F Circuit d'eau alimentaire de secours

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

Table B.1 – Plant operating states during refuelling outage at Surry Unit 1

POS	Operation	Definition	Temperature °C	Cooling system[1)]
1	Low power	Hot shutdown	290	P E R A S F
2	Shutdown	Cooldown with SG (steam generator)	94	P E R A S F
3	Shutdown	Cooldown with RHRS	94	P E R A S F
4	Shutdown	Cooldown with RHRS	Ambient	P R A S F
5	Shutdown	Draining to mid-loop		R
6	Mid-loop	Mid-loop		R
7	Refuelling	Fill reactor cavity		R
8	Refuelling	Refuelling		R
9	Refuelling	Draining RCS to mid-loop		R
10	Refuelling	Mid-loop operation after refuelling		R
11	Startup	Refill RCS		R A
12	Startup	RCS heatup solid, draw bubble		P E R A S F
13	Startup	RCS heatup with RCP	94	P E R A S F
14	Startup	Reactor startup with SGs	260	P E R A S F
15	Startup	Reactor startup and low power operation		P E R A S F

[1)] Cooling systems:

P Reactor coolant pumps

E High pressure ECCS

R RHRS

A Accumulators

S Steam generator relief valves

F Auxiliary feedwater system

———————

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.

Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Switzerland

or

Fax to: **IEC**/CSC at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

A Prioritaire

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)
International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 GENEVA 20
Switzerland

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

Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: *(e.g. 60601-1-1)*

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard *(tick all that apply).* I am the/a:

purchasing agent ❑
librarian ❑
researcher ❑
design engineer ❑
safety engineer ❑
testing engineer ❑
marketing specialist ❑
other.....

Q3 I work for/in/as a: *(tick all that apply)*

manufacturing ❑
consultant ❑
government ❑
test/certification facility ❑
public utility ❑
education ❑
military ❑
other.....

Q4 This standard will be used for: *(tick all that apply)*

general reference ❑
product research ❑
product design/development ❑
specifications ❑
tenders ❑
quality assessment ❑
certification ❑
technical documentation ❑
thesis ❑
manufacturing ❑
other.....

Q5 This standard meets my needs: *(tick one)*

not at all ❑
nearly ❑
fairly well ❑
exactly ❑

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: *(tick all that apply)*

standard is out of date ❑
standard is incomplete ❑
standard is too academic ❑
standard is too superficial ❑
title is misleading ❑
I made the wrong choice ❑
other .....

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:
(1) unacceptable,
(2) below average,
(3) average,
(4) above average,
(5) exceptional,
(6) not applicable

timeliness.....
quality of writing.....
technical contents.....
logic of arrangement of contents .....
tables, charts, graphs, figures.....
other .....

Q8 I read/use the: *(tick one)*

French text only ❑
English text only ❑
both English and French texts ❑

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

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

Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Suisse

ou

Télécopie: **CEI**/CSC +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

A Prioritaire

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)
Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 GENÈVE 20
Suisse

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

Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact: (*ex. 60601-1-1)*

.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?
(cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

agent d'un service d'achat ❑
bibliothécaire ❑
chercheur ❑
ingénieur concepteur ❑
ingénieur sécurité ❑
ingénieur d'essais ❑
spécialiste en marketing ❑
autre(s).....

Q3 Je travaille:
(cochez tout ce qui convient)

dans l'industrie ❑
comme consultant ❑
pour un gouvernement ❑
pour un organisme d'essais/ certification ❑
dans un service public ❑
dans l'enseignement ❑
comme militaire ❑
autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
(cochez tout ce qui convient)

ouvrage de référence ❑
une recherche de produit ❑
une étude/développement de produit ❑
des spécifications ❑
des soumissions ❑
une évaluation de la qualité ❑
une certification ❑
une documentation technique ❑
une thèse ❑
la fabrication ❑
autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
(une seule réponse)

pas du tout ❑
à peu près ❑
assez bien ❑
parfaitement ❑

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
(cochez tout ce qui convient)

la norme a besoin d'être révisée ❑
la norme est incomplète ❑
la norme est trop théorique ❑
la norme est trop superficielle ❑
le titre est équivoque ❑
je n'ai pas fait le bon choix ❑
autre(s) .....

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres
(1) inacceptable,
(2) au-dessous de la moyenne,
(3) moyen,
(4) au-dessus de la moyenne,
(5) exceptionnel,
(6) sans objet

publication en temps opportun .....
qualité de la rédaction.....
contenu technique .....
disposition logique du contenu .....
tableaux, diagrammes, graphiques, figures.....
autre(s) .....

Q8 Je lis/utilise: *(une seule réponse)*

uniquement le texte français ❑
uniquement le texte anglais ❑
les textes anglais et français ❑

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

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.

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

ISBN 2-8318-5029-0

ICS 27.120.20

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND