

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**62118**

Première édition  
First edition  
2000-11

---

---

**Instrumentation des réacteurs nucléaires –  
Réacteurs à eau pressurisée (REP) de type VVER –  
Surveillance du refroidissement correct du coeur  
pendant les états d'arrêt**

**Nuclear reactor instrumentation –  
Pressurized water reactor (PWR) of VVER design –  
Monitoring adequate cooling within  
the core during shutdown**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 62118:2000

## Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

## Editions 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.

## Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))**
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI ([www.iec.ch/catlg-f.htm](http://www.iec.ch/catlg-f.htm)) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues ([www.iec.ch/JP.htm](http://www.iec.ch/JP.htm)) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tél: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

## Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

## Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. 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.

## Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. 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 also available from the following:

- **IEC Web Site ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))**
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/catlg-e.htm](http://www.iec.ch/catlg-e.htm)) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications ([www.iec.ch/JP.htm](http://www.iec.ch/JP.htm)) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD

CEI  
IEC

62118

Première édition  
First edition  
2000-11

---

---

**Instrumentation des réacteurs nucléaires –  
Réacteurs à eau pressurisée (REP) de type VVER –  
Surveillance du refroidissement correct du coeur  
pendant les états d'arrêt**

**Nuclear reactor instrumentation –  
Pressurized water reactor (PWR) of VVER design –  
Monitoring adequate cooling within  
the core during shutdown**

© IEC 2000 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland  
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*

## SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS .....	6
INTRODUCTION .....	8
Articles	
1 Domaine d'application et objet.....	10
2 Références normatives.....	10
3 Définitions et abréviations .....	12
4 Conditions opérationnelles .....	16
4.1 Généralités .....	16
4.2 Fonctionnement en puissance normale.....	18
4.3 Fonctionnement en arrêt à chaud .....	18
4.4 Conditions anormales et accidentelles.....	18
4.5 Fonctionnement en arrêt à froid.....	20
5 Méthodes de mesure.....	20
5.1 Généralités .....	20
5.2 Dispositifs de mesure du niveau d'eau dans la cuve du réacteur .....	22
5.2.1 Mesure de la pression différentielle .....	22
5.2.2 Mesure par thermocouple chauffé.....	24
5.3 Dispositifs de mesure du niveau d'eau de la tuyauterie d'entrée/de sortie de la cuve du réacteur (systèmes de la figure 2).....	24
5.3.1 Mesure de la pression différentielle .....	24
5.3.2 Surveillance du niveau de fluide par ultrasons .....	26
5.4 Dispositifs de mesure de la température à la sortie du cœur.....	26
5.4.1 Thermocouples à la sortie du cœur.....	26
5.4.2 Température de la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur .....	26
5.4.3 Température du RRA (systèmes de la figure 2).....	26
6 Exigences relatives à l'instrumentation .....	26
6.1 Généralités .....	26
6.1.1 Classes de sûreté .....	28
6.1.2 Précision et temps de réponse .....	28
6.1.3 Fiabilité .....	28
6.1.4 Cas d'une défaillance unique.....	28
6.2 Mesure de la pression différentielle .....	30
6.2.1 Transmetteurs de pression différentielle .....	30
6.2.2 Colonnes de référence .....	30
6.2.3 Emplacement des piquages pour la mesure de pression différentielle .....	30
6.2.4 Installations de la ligne d'instrumentation hydraulique .....	32
6.2.5 Température des lignes d'instrumentation hydraulique.....	34
6.2.6 Type et qualité du fluide dans les lignes d'instruments .....	34
6.3 Mesure par thermocouple chauffé .....	34
6.4 Mesure du niveau d'eau par ultrasons .....	34
6.4.1 Application .....	34
6.4.2 Exactitude et temps de réponse.....	34
6.4.3 Questions relatives à l'installation.....	36
6.4.4 Questions spéciales relatives à l'interface homme/machine .....	36
6.5 Dispositifs de mesure de température .....	36

## CONTENTS

	Page
FOREWORD .....	7
INTRODUCTION .....	9
Clause	
1 Scope and object .....	11
2 Normative references .....	11
3 Definitions and abbreviations .....	13
4 Operating conditions .....	17
4.1 General.....	17
4.2 Normal power operation.....	19
4.3 Hot shutdown operations .....	19
4.4 Abnormal and accident conditions.....	19
4.5 Cold shutdown operations.....	21
5 Measurement methods.....	21
5.1 General.....	21
5.2 RPV water level measuring devices .....	23
5.2.1 Differential pressure measurement.....	23
5.2.2 Heated sensor measurement .....	25
5.3 RPV inlet/outlet pipe water level measuring devices (systems as shown in figure 2) .....	25
5.3.1 Differential pressure measurement.....	25
5.3.2 Ultrasonic liquid level monitoring.....	27
5.4 Core exit temperature sensing devices .....	27
5.4.1 Core exit thermocouples .....	27
5.4.2 RPV outlet pipe temperature .....	27
5.4.3 RHRS temperature (systems as shown in figure 2).....	27
6 Instrumentation requirements.....	27
6.1 General.....	27
6.1.1 Safety classification .....	29
6.1.2 Accuracy and response time .....	29
6.1.3 Reliability.....	29
6.1.4 Single failure considerations .....	29
6.2 Differential pressure measurement .....	31
6.2.1 Differential pressure transmitters .....	31
6.2.2 Reference columns .....	31
6.2.3 Differential pressure tap locations .....	31
6.2.4 Hydraulic instrument line installations .....	33
6.2.5 Hydraulic instrument line temperature .....	35
6.2.6 Type and quality of the fluid in the instrument lines .....	35
6.3 Heated sensor measurement .....	35
6.4 Ultrasonic liquid level measurement.....	35
6.4.1 Application .....	35
6.4.2 Accuracy and time response .....	35
6.4.3 Installation considerations.....	37
6.4.4 Special human machine interface considerations .....	37
6.5 Temperature sensing devices .....	37

Articles	Pages
7 Traitement des données .....	36
8 Présentation des informations .....	36
9 Vérification et étalonnage .....	38
10 Contrôle en service et maintenance .....	38
11 Qualification .....	38
12 Documentation .....	38
Annexe A (informative) Evénements avec une dégradation potentielle du refroidissement du cœur dans les VVER.....	50
Annexe B (informative) Etats de fonctionnement de la centrale .....	52
Figure 1 – Configuration du REP: VVER-440 – Générateurs de vapeur horizontaux .....	40
Figure 2 – Configuration du REP: VVER-1000 – Générateurs de vapeur horizontaux .....	42
Figure 3 – Mesure du niveau d’eau par la méthode de la pression différentielle (système VVER 1000).....	44
Figure 4 – Considérations thermohydrauliques affectant les mesures du niveau d’eau (système VVER 1000) en inventaire en eau réduit et débit inversé .....	46
Figure 5 – Mesure du niveau d’eau par un capteur à action directe (système VVER 1000) en inventaire en eau réduit et débit inversé .....	48

Clause	Page
7 Data processing .....	37
8 Presentation of information .....	37
9 Verification and calibration .....	39
10 In-service testing and maintenance .....	39
11 Qualification .....	39
12 Documentation .....	39
Annex A (informative) Events with potential core cooling degradation at VVERs.....	51
Annex B (informative) Plant operating states .....	53
Figure 1 – PWR configuration: (VVER-440) – Horizontal steam generators .....	41
Figure 2 – PWR configuration: (VVER-1000) – Horizontal steam generators .....	43
Figure 3 – Water level measurement by differential pressure method for VVER 1000 .....	45
Figure 4 – Thermal-hydraulic considerations affecting water level measurements (VVER-1000 systems) at reduced inventory and reverse flow .....	47
Figure 5 – Water level measurement by direct acting transmitter (VVER-1000 systems) at reduced inventory and reverse flow .....	49

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### **INSTRUMENTATION DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES – RÉACTEURS À EAU PRESSURISÉE (REP) DE TYPE VVER – SURVEILLANCE DU REFROIDISSEMENT CORRECT DU CŒUR PENDANT LES ÉTATS D'ARRÊT**

#### AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique 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, spécifications techniques, 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 62118 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/400A/FDIS	45A/403/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 publication doit être lue conjointement avec la CEI 60911.

Cette publication 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 le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2006. A cette date, la publication sera

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

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**NUCLEAR REACTOR INSTRUMENTATION –  
PRESSURIZED WATER REACTOR (PWR) OF VVER DESIGN –  
MONITORING ADEQUATE COOLING WITHIN THE CORE  
DURING 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 specifications, 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 62118 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/400A/FDIS	45A/403/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 should be read in conjunction with IEC 60911.

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 the contents of this publication will remain unchanged until 2006. At this date, the publication will be

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

## INTRODUCTION

Un refroidissement correct du cœur ne peut être réalisé qu'avec un apport suffisant de fluide de refroidissement au cœur afin d'évacuer la chaleur. Pendant l'exploitation normale, le refroidissement du cœur est commandé et surveillé d'une manière correcte par les systèmes de commande et de protection du réacteur et le refroidissement est maintenu par la circulation forcée du liquide de refroidissement assurée par les pompes primaires. Pendant les opérations d'arrêt à chaud et à froid, le refroidissement du cœur peut être effectué par le biais de différents moyens, tels que la circulation forcée avec les pompes primaires, la circulation naturelle du fluide de refroidissement ou le système d'évacuation de la puissance résiduelle (RRA). Pendant certaines conditions anormales, le refroidissement doit même dépendre de l'ébullition fixe du fluide de refroidissement.

Il est important que les opérateurs de l'installation aient à leur disposition des informations fiables concernant les conditions et l'approvisionnement du fluide de refroidissement dans la cuve du réacteur. Ces informations se rapportent généralement au cœur, et expriment la température, la pression, le débit du liquide de refroidissement et le niveau d'eau par rapport à la partie supérieure du cœur. Il est également important que les opérateurs de l'installation disposent d'informations fiables concernant la saturation du liquide de refroidissement et son historique afin d'évaluer les conditions anormales. Des informations doivent être disponibles pour toutes les conditions, y compris l'arrêt à froid dans la mesure où des interruptions de refroidissement du cœur se sont produites dans plusieurs VVER. L'annexe A, qui présente une liste de ces événements, identifie les conditions qu'il convient de prendre en considération dans la conception de l'instrumentation de la surveillance du refroidissement du cœur.

## INTRODUCTION

Adequate core cooling can be achieved only by providing sufficient coolant flow to the core to remove the heat. During normal power operations, core cooling is adequately controlled and monitored by reactor control and protection systems, and cooling is maintained by forced circulation with the pumps of the Reactor Coolant System (RCS). During hot or cold shutdown operations, core cooling can be provided by different means such as forced circulation with the RCS pumps, natural circulation of the coolant or by the Residual Heat Removal System (RHRS). During certain abnormal conditions cooling must even rely on stationary boiling of the coolant.

It is important that plant operators have reliable information concerning the coolant conditions and inventory in the Reactor Pressure Vessel (RPV). This information is usually related to the core, expressed specifically as the coolant temperature, pressure, flow and water level relative to the top of the core. It is also important that plant operators have reliable information concerning subcooling of the coolant and its time history to assess abnormal conditions. The information must be available for all conditions, including cold shutdown since core cooling interruptions have occurred at several VVERs. Annex A, which lists some of these events, identifies conditions which should be considered in the design of core cooling monitoring instrumentation.

# INSTRUMENTATION DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES – RÉACTEURS À EAU PRESSURISÉE (REP) DE TYPE VVER – SURVEILLANCE DU REFROIDISSEMENT CORRECT DU CŒUR PENDANT LES ÉTATS D'ARRÊT

## 1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale, applicable aux réacteurs à eau sous pression (REP) de conception VVER ayant des configurations similaires à celles indiquées aux figures 1 et 2, présente les exigences de surveillance du refroidissement correct du cœur au cours des opérations d'arrêt à chaud ou à froid. L'annexe B fournit de plus amples informations sur les états de fonctionnement des VVER.

La présente norme donne un résumé des bonnes pratiques internationales à adopter lors de la conception de nouveaux dispositifs de surveillance du refroidissement du cœur des REP de conception VVER ou lors du perfectionnement de dispositifs existants. La présente norme ne prend pas en compte les détails de conception des différents systèmes technologiques VVER, hormis lorsque ceux-ci ont un impact sur la surveillance du refroidissement du cœur.

Les exigences données concernent l'instrumentation de la surveillance du refroidissement du cœur et ont pour but de garantir le fonctionnement sûr des VVER pendant l'exploitation anormale et pendant et après les accidents de référence (ADR). Les exigences applicables à la surveillance du refroidissement du cœur au-delà d'un ADR, qui pourrait être une exigence ou une considération nationale spécifique, ne sont pas couvertes ici.

L'instrumentation de la surveillance du refroidissement du cœur doit fonctionner dans des conditions extrêmement différentes. Les circonstances dans lesquelles cette instrumentation doit fonctionner sont décrites. Les descriptions des divers principes de mesure et des appareils appropriés sont indiquées avec les exigences applicables aux points suivants:

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

## 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 l'ISO et de la CEI 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'essais*

# NUCLEAR REACTOR INSTRUMENTATION – PRESSURIZED WATER REACTOR (PWR) OF VVER DESIGN – MONITORING ADEQUATE COOLING WITHIN THE CORE DURING SHUTDOWN

## 1 Scope and object

This International Standard applies to pressurized water reactors (PWRs) of VVER design with configurations similar to those shown in figures 1 and 2, and presents the requirements for monitoring adequate cooling within the core during hot and cold shutdown conditions. Annex B provides more information on VVER operating states.

Good international practices to be used when designing new or upgrading existing core cooling monitors for VVER systems are summarized in this standard. This standard does not consider the design details of the different VVER technological systems designs, except to the extent that the design affects the monitoring of core cooling.

Requirements are given for core cooling monitoring instrumentation to ensure the safe operation of VVERs during abnormal operation and during and after design basis accidents (DBA). Requirements for core cooling monitoring during conditions beyond a DBA, which could be a specific national requirement or consideration, are not covered here.

The core cooling monitoring instrumentation has to function under widely different conditions. The circumstances under which this instrumentation needs to function are described. Descriptions of diverse measuring principles and suitable devices are given along with requirements for the following:

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

## 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*

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 des centrales électronucléaires*

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

CEI 61225:1993, *Centrales nucléaires – Systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande importants 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, *Systèmes d'instrumentation et de commande liés à la sûreté dans les centrales nucléaires*

### **3 Définitions et abréviations**

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent. Si des termes sont définis dans une autre norme, leur source est indiquée entre crochets.

#### **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 de composants ou de systèmes redondants pour l'accomplissement d'une fonction déterminée, lorsque ces composants ou systèmes ont collectivement un ou plusieurs attributs différents

[IAEA 50-SG-D8]

#### **3.5**

##### **espace annulaire**

volume annulaire entre la paroi de la cuve du réacteur et les composants internes, qui dirige le fluide de refroidissement vers la partie inférieure du cœur

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*

### **3 Definitions and abbreviations**

For the purpose of this International Standard, the following definitions apply. For terms defined elsewhere, the source is given in square brackets.

#### **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**

the 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**

##### **downcomer**

annular volume between reactor vessel wall and internals that directs coolant flow to the bottom of the core

### **3.6**

#### **CRSC**

circuit de refroidissement de secours du cœur

### **3.7**

#### **APRP**

accident de perte de réfrigérant primaire

### **3.8**

#### **surveillance**

moyen prévu 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]

### **3.9**

#### **SSPA**

système de surveillance post-accidentel

### **3.10**

#### **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 provenant du liquide de refroidissement

### **3.11**

#### **enceinte de confinement**

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

### **3.12**

#### **RCP**

circuit primaire

### **3.13**

#### **cuve du réacteur**

cuve qui contient le cœur du réacteur

### **3.14**

#### **RPR**

système de protection du réacteur

### **3.15**

#### **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 plus bas que la partie supérieure de l'élévation de la buse de la tuyauterie de la branche chaude de la cuve du réacteur, plus une tolérance pour l'incertitude de la mesure du niveau d'eau

### **3.16**

#### **redondance**

présence d'autres éléments ou systèmes (identiques ou différents) de sorte que l'un d'entre eux puisse remplir la fonction requise indépendamment de l'état de fonctionnement ou de la défaillance d'un autre

[IAEA 50-SG-D8]

**3.6****ECCS**

emergency core cooling system

**3.7****LOCA**

loss of coolant accident

**3.8****monitoring**

means provided to indicate continuously the state or condition of a system, sub-system, equipment or assembly

[IEV 393-08-48]

**3.9****PAMS**

post-accident monitoring system

**3.10****pressurized water reactor (PWR)**

a 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

**3.11****reactor containment**

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

**3.12****RCS**

reactor coolant system

**3.13****reactor pressure vessel (RPV)**

the vessel which contains the reactor core

**3.14****RPS**

reactor protection system

**3.15****reduced inventory condition**

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

**3.16****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]

### 3.17

#### **circuit de refroidissement à l'arrêt (RRA)**

système d'évacuation de la chaleur résiduelle

### 3.18

#### **critère de défaillance unique**

critère appliqué à un système tel que celui-ci soit capable de remplir sa propre tâche de sûreté en présence de toute défaillance unique

[VEI 393-08-29]

### 3.19

#### **RTV**

accident de rupture de tuyauterie vapeur

### 3.20

#### **eau sous-refroidie**

eau à une température inférieure à la température de saturation pour la pression existante

[CEI 61343]

### 3.21

#### **vapeur surchauffée**

vapeur à une température supérieure à la température de saturation correspondant à la pression existante

[CEI 61343]

### 3.22

#### **VVER – Réacteur de puissance eau à eau**

conception de REP provenant des bureaux d'étude russes. Les caractéristiques principales incluent un système de refroidissement de réacteur à saturation et de nombreux modèles sont munis de générateurs de vapeur horizontaux.

## 4 Conditions opérationnelles

### 4.1 Généralités

Le refroidissement correct du cœur est nécessaire pour tous les modes et conditions de fonctionnement des centrales, y compris le fonctionnement en puissance, les états opérationnels transitoires, les conditions anormales et les états d'arrêt à chaud et à froid. L'annexe B contient les définitions des divers modes opérationnels et états de fonctionnement des centrales applicables aux VVER. Un refroidissement correct du cœur est confirmé par des mesures de la circulation du fluide de refroidissement via la cuve du réacteur à une température, une pression et un débit appropriés pour évacuer la chaleur du cœur.

La présente norme couvre les questions relatives à l'instrumentation pour la surveillance du refroidissement du cœur dans les REP de type VVER ayant des conceptions similaires à celles présentées aux figures 1 et 2. Ces configurations sont similaires par rapport aux exigences applicables au refroidissement du cœur, à l'exception des différences suivantes.

- Figure 1 (VVER-440): les vannes d'isolement à boucles permettent d'isoler les boucles du réacteur à des fins de maintenance. La chaleur résiduelle du cœur (VVER-440 première génération) est évacuée par la circulation naturelle en direction des générateurs de vapeur pendant les opérations de mise à l'arrêt après l'arrêt des pompes dans le circuit de refroidissement du réacteur. Les générateurs de vapeur sont refroidis par le RRA auxiliaire secondaire.

NOTE Certaines conceptions de VVER-440 (seconde génération ou après modernisation) ont des RRA primaires similaires aux conceptions VVER-1000.

**3.17  
RHRS**

residual heat removal system

**3.18  
single failure criterion**

criterion applied to a system so that it is capable of performing its safety task in the presence of any single failure

[IEV 393-08-29]

**3.19  
SLBA**

steam line break accident

**3.20  
subcooled water**

water at a temperature lower than the saturation temperature corresponding to the existing pressure

[IEC 61343]

**3.21  
superheated steam**

steam at a temperature higher than the saturation temperature corresponding to the existing pressure

[IEC 61343]

**3.22  
VVER: water to water power reactor**

a PWR design originating from Russian design agencies. Notable features include a subcooled reactor coolant system and many designs have horizontal steam generators

**4 Operating conditions****4.1 General**

The need for adequate core cooling exists for all plant operating modes and states, including normal power operation, operational transients, abnormal conditions and hot and cold shutdown operations. Annex B contains definitions of the various operating modes and plant operating states applied in VVERs. Adequate core cooling is confirmed by measurements of coolant circulation through the RPV at an appropriate temperature, pressure and flow to remove heat from the core.

This standard covers instrumentation considerations for monitoring core cooling in PWRs of VVER design with configurations similar those shown on figures 1 and 2. These configurations are similar relative to core cooling monitoring requirements except for the following differences:

- Figure 1 (VVER-440): Loop isolation valves allow loops to be isolated from the reactor for maintenance. Core residual heat (VVER-440 first generation) is removed by natural circulation to the steam generators during shutdown operations after the rundown of the pumps in the reactor coolant system. The steam generators are cooled by the secondary auxiliary RHRS.

NOTE Some VVER-440 designs (second generation or after modernization) have primary RHRSs similar to VVER-1000 designs.

- Figure 2 (VVER-1000): la chaleur résiduelle du cœur est évacuée par le système primaire d'évacuation de la chaleur résiduelle (RRA) pendant les opérations de mise à l'arrêt à froid. Les tuyaux d'aspiration du RRA sont connectés à la partie supérieure de la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur (branche chaude) ou à la partie inférieure de la tuyauterie d'entrée de la cuve du réacteur (branche froide). Un écoulement inverse du cœur permet de réduire le niveau de fluide de refroidissement du réacteur pendant les opérations de maintenance à un niveau inférieur à la partie supérieure de l'élévation de la buse de la tuyauterie d'entrée (branche froide) de la cuve du réacteur.

Les paragraphes 4.2 à 4.5 décrivent les conditions normales, anormales et accidentelles qui dépendent de la surveillance du refroidissement correct du cœur à l'intérieur du réacteur.

#### **4.2 Fonctionnement en puissance normale**

Pendant le fonctionnement en puissance normale, avec la puissance du réacteur  $>2\%$ , le refroidissement du cœur est surveillé par le système de protection du réacteur (RPR). En cas d'état transitoire anormal ou de condition accidentelle, tel qu'un accident de perte de fluide primaire (APRP) ou un accident de rupture de tuyauterie vapeur (RTV), le RPR déclenche un arrêt d'urgence du réacteur, entraînant le passage à l'arrêt à chaud. Le RPR couvre en conséquence les exigences applicables à la surveillance du fonctionnement en puissance normale: ces exigences ne sont pas traitées dans la présente norme.

#### **4.3 Fonctionnement en arrêt à chaud**

Le fonctionnement en arrêt à chaud inclut les modes de fonctionnement avec une puissance du réacteur  $<2\%$ , avec une température du fluide de refroidissement supérieure à  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $212\text{ }^{\circ}\text{F}$ ), de telle sorte que l'ébullition et la possibilité de dégradation du refroidissement du cœur pourraient se produire dans le cas d'une réduction de pression et de la quantité de fluide de refroidissement. La chaleur résiduelle du cœur est normalement évacuée par la vapeur, des générateurs de vapeur vers le condenseur principal et ensuite vers les condenseurs de rejet du RRA secondaire dans les systèmes VVER 440 (figure 1) ou par le RRA primaire dans les systèmes VVER 1000 (figure 2).

Un refroidissement correct du cœur pendant les opérations normales et anormales de fonctionnement en arrêt à chaud est confirmé si la température du fluide de refroidissement au niveau du cœur, de la tuyauterie de sortie du cœur ou de la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur est saturée ou dans les limites établies par les analyses de sûreté et si la quantité de fluide de refroidissement est suffisante pour couvrir le cœur.

#### **4.4 Conditions anormales et accidentelles**

Le refroidissement correct du cœur est une considération essentielle pour la sûreté du réacteur. Les conditions transitoires anormales ou les accidents tels que la perte totale d'eau alimentaire, l'arrêt d'urgence des pompes primaires, la rupture d'un tuyau du générateur de vapeur, la fuite d'un barillet primaire du générateur de vapeur ou un APRP peuvent engendrer une perte de volume de fluide de refroidissement du réacteur et la dégradation du refroidissement du cœur et de l'évacuation de la chaleur résiduelle.

Des systèmes de sûreté spéciaux, par exemple les circuits de refroidissement de secours du cœur (CRSC), les circuits d'eau alimentaire de secours ou les systèmes d'injection de sûreté d'acide borique à haute pression sont disponibles pour maintenir le refroidissement du cœur, l'évacuation de la chaleur résiduelle et la sous-criticité du réacteur. La surveillance du refroidissement du cœur et du volume de fluide de refroidissement du réacteur est nécessaire pour commander le fonctionnement des systèmes de sûreté dans des conditions anormales ou accidentelles afin d'éviter des situations critiques pouvant potentiellement engendrer un endommagement du cœur.

- Figure 2 (VVER-1000): Core residual heat is removed by the primary residual heat removal (RHRS) system during cold shutdown operations. RHRS suction lines are connected either to the top of the RPV outlet pipes (hot leg) or the bottom of the RPV inlet pipes (cold leg). Reverse core flow enables the reactor coolant level to be reduced during maintenance operation to the level lower than the top of the RPV inlet (cold leg) piping nozzle elevation.

Subclauses 4.2 through 4.5 describe the normal, abnormal, and accident conditions that depend on the monitoring of adequate core cooling in the reactor.

#### **4.2 Normal power operation**

During normal power operation, with reactor power  $>2\%$ , core cooling is monitored by the reactor protection system (RPS). In the event of an abnormal transient or an accident condition such as a loss of coolant accident (LOCA) or steam line break accident (SLBA), the RPS initiates a reactor trip, resulting in transition to hot shutdown operation. The RPS therefore meets the normal power operation monitoring requirements: these requirements are not addressed in this standard.

#### **4.3 Hot shutdown operations**

Hot shutdown operation includes operating modes with the reactor power  $\leq 2\%$ , with a coolant temperature above  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $212\text{ }^{\circ}\text{F}$ ), so that boiling and the possibility of degraded core cooling could occur in the event of a reduction in pressure and coolant inventory. Core residual heat is normally removed by steam release from the steam generators to the main condenser, to the dump condensers of the secondary RHRS in VVER 440 (figure 1) systems or by the primary RHRS in VVER 1000 (figure 2) systems.

Adequate core cooling during normal and abnormal hot shutdown operations is confirmed if coolant temperature at the core, core exit, or RPV outlet pipe is either subcooled or within limits established by the safety analyses, and if coolant inventory is sufficient to cover the core.

#### **4.4 Abnormal and accident conditions**

Adequate core cooling is a major consideration for reactor safety. Abnormal transients or accidents such as the total loss of feedwater, the trip of reactor coolant pumps, a steam generator tube rupture or the leakage of a steam generator primary header or a LOCA can lead to a loss of coolant inventory and to the degradation of core cooling and residual heat removal.

Special safety systems, for example emergency core cooling systems (ECCS), emergency feedwater systems or high pressure boron safety injection systems are available to maintain core cooling, residual heat removal and subcriticality of the reactor. Monitoring of core cooling and reactor coolant inventory is necessary to control the operation of safety systems under abnormal or accident conditions to avoid critical situations potentially leading to a core damage.

#### 4.5 Fonctionnement en arrêt à froid

Les opérations de fonctionnement en arrêt à froid sont définies comme les opérations de maintenance lorsque la température du fluide de refroidissement est inférieure à 100 °C (212 °F), avec tous les boulons de fermeture du couvercle de la cuve du réacteur complètement serrés et les opérations de remplissage à une température de 70 °C (158 °F), avec un ou plusieurs boulons de fermeture du couvercle de la cuve du réacteur non serrés.

La chaleur résiduelle est évacuée par le RRA auxiliaire secondaire dans les systèmes de la figure 1 ou par le RRA primaire dans les systèmes de la figure 2. Les composants redondants et la disponibilité d'une alimentation électrique de secours minimisent le risque de perte de la capacité de refroidissement du cœur.

Une condition d'inventaire réduit en eau existera dans les systèmes de la figure 2 pour les opérations de maintenance (par exemple entretien de la pompe de fluide de refroidissement du réacteur) lorsque le niveau d'eau dans la cuve du réacteur est inférieur à la partie supérieure de l'élévation de la buse de la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur (la branche chaude ou la branche froide, en fonction de la direction de l'écoulement à travers la cuve du réacteur). Dans ces opérations spécifiques, le volume de fluide de refroidissement est maintenu au niveau de ou à un niveau supérieur au niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur requis pour la circulation du fluide de refroidissement jusqu'au RRA. L'écoulement inverse du fluide de refroidissement à travers le cœur est maintenu dans ce mode en lignant le RRA primaire pour aspirer à partir de la tuyauterie de la branche froide de la cuve du réacteur et refouler vers la tuyauterie de la branche chaude de la cuve du réacteur. Dans la présente norme, la discussion concernant la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur des centrales VVER 1000 dans des conditions d'inventaire réduit en eau fait toujours référence à la branche froide de la cuve du réacteur dont la buse d'aspiration du RRA a la plus faible élévation.

Dans la mesure où les composants des boucles peuvent être isolés à des fins de maintenance par les vannes de la conception VVER 440 (systèmes de la figure 1), les conditions intentionnelles d'inventaire réduit en eau sont moins susceptibles de se produire.

En présence de condition d'inventaire réduit en eau dans la cuve du réacteur d'une centrale VVER 1000 (systèmes de la figure 2), une augmentation du volume de fluide de refroidissement commise par inadvertance peut engendrer un débordement du fluide de refroidissement via les ouvertures de la cuve, causant éventuellement la contamination du personnel. Une diminution du volume de fluide de refroidissement commise par inadvertance peut interrompre le débit du RRA et le refroidissement du cœur, entraînant une augmentation de chaleur du cœur et l'ébullition du fluide de refroidissement dans la cuve du réacteur. Au début et à la fin d'une opération de rechargement du combustible, le niveau d'eau est réduit à un niveau tout juste inférieur au rebord de la cuve du réacteur pour l'enlèvement des boulons de fermeture de la cuve du réacteur, mais au-dessus du niveau d'eau pour une condition d'inventaire réduit en eau. Pendant cette opération, une augmentation du volume de fluide de refroidissement commise par inadvertance peut engendrer un débordement du fluide de refroidissement au-dessus du rebord de la cuve du réacteur, causant éventuellement la contamination du personnel.

### 5 Méthodes de mesure

#### 5.1 Généralités

Afin d'assurer un refroidissement adéquat du cœur dans les centrales VVER, un volume d'eau suffisant est en permanence maintenu dans la cuve du réacteur. La surveillance continue de la température de sortie du cœur et du niveau d'eau au-dessus du cœur apporte l'indication d'un volume correct de fluide de refroidissement. Divers types de dispositifs de mesure sont disponibles pour surveiller le niveau et la température de l'eau de la cuve du réacteur. L'applicabilité d'un dispositif dépend en grande partie des exigences spécifiques applicables au paramètre mesuré. Des dispositifs de mesure supplémentaires développés dans le futur pourront être utilisés s'ils sont conformes aux exigences spécifiques. Les dispositifs actuellement utilisés pour des applications spécifiques sont indiqués ci-après.

## 4.5 Cold shutdown operations

Cold shutdown operations are defined as maintenance operations when coolant temperature is below 100 °C (212 °F), with all RPV head closure bolts fully tensioned, and refueling operations with temperature 70 °C (158 °F), with one or more RPV head closure bolts less than fully tensioned.

Residual heat is removed by the secondary auxiliary RHRS in the systems shown in figure 1 or by the primary RHRS in the systems shown in figure 2. Redundant components and emergency power availability minimize the possibility that core cooling capability would be lost.

A reduced inventory condition will exist in the systems shown in figure 2 for maintenance operations (e.g. reactor coolant pump maintenance) when the water level in the RPV is lower than the top of the RPV outlet piping (either the hot leg or the cold leg, depending on the direction of flow through the RPV) nozzle elevation. 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. Reverse coolant flow through the core is maintained in this mode by primary RHRS operation aligned to take suction from the RPV cold leg piping and discharge to the RPV hot leg piping. Throughout this standard, the discussion of the VVER 1000 RPV outlet pipe in reduced inventory conditions always refers to the RPV cold leg which has the RHRS suction nozzle at the lower elevation.

Since loop components can be isolated for maintenance by valves in the VVER 440 design (systems shown in figure 1), intentional reduced inventory conditions are less likely to occur.

During a reduced inventory condition in the RPV of a VVER 1000, (systems shown in figure 2), an inadvertent increase in coolant inventory could result in coolant overflow through openings in the RCS pressure boundary, possibly causing personnel contamination. An inadvertent decrease in coolant inventory could interrupt RHRS flow and core cooling, resulting in core heatup and boiling of the coolant in the RPV. At the beginning and end of a refueling operation, water level is reduced to just below the RPV head flange for removal of RPV head closure bolts, but above the water level for a reduced inventory condition. During this operation, an inadvertent increase in coolant inventory could result in an overflow over the RPV flange, possibly causing personnel contamination.

## 5 Measurement methods

### 5.1 General

To assure adequate core cooling in VVERs, sufficient water is continuously maintained in the RPV. Continuous monitoring of the core exit temperature and the water level above the core provides the indication of an adequate coolant inventory. Various types of measuring devices are available for monitoring RPV water level and temperature. The applicability of a device 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.

Le niveau d'eau de la cuve du réacteur d'un REP est mesuré à l'aide d'instruments à pression différentielle ou de thermocouples chauffés, actuellement utilisés en exploitation, et qui sont applicables aux VVER.

Durant les conditions d'inventaire réduit en eau dans des systèmes VVER 1000 (figure 2), le niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur est mesuré à l'aide d'instruments à pression différentielle ou de dispositifs de surveillance du niveau d'eau par ultrasons, qui sont également actuellement utilisés dans les REP en exploitation. Dans une centrale VVER, les altimétries de la tuyauterie d'entrée et de sortie de la cuve du réacteur sont différentes, comme le montre la figure 2, et de ce fait la condition d'inventaire réduit en eau exige que le niveau d'eau soit mesuré à l'altimétrie la plus faible.

La température de sortie du cœur est généralement mesurée avec les thermocouples de sortie du cœur et par les sondes à résistance installés dans la tuyauterie de sortie du cœur de la cuve du réacteur. Pour le VVER 1000, lors du fonctionnement en arrêt à froid, la température de sortie du cœur peut également être mesurée à l'aide de sondes dans le RRA.

Après avoir retiré le couvercle de la cuve du réacteur dans une centrale VVER 440 les signes indiquant le débit de circulation naturel sont surveillés. Les sondes installées dans la tuyauterie d'entrée et de sortie apportent des informations sur la température différentielle du cœur.

## 5.2 Dispositifs 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 déjà éprouvées en vue de leur utilisation dans les REP et applicables aux VVER.

### 5.2.1 Mesure de la pression différentielle

La mesure du niveau d'eau dans une cuve de réacteur d'une centrale VVER 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 de pression différentielle comme indiqué par la plage du transmetteur de pression différentielle « R » à action inverse de la figure 3. La pression différentielle correspondante est définie par l'équation suivante:

$$\Delta p = g\rho_0 h_R - g [\rho_f h_f + \rho_g (h_R - h_f)]$$

où

$\Delta p$  est la pression différentielle dans le transmetteur;

$\rho_0$  est la masse volumique du fluide (eau) de la colonne de référence à la température régnant dans la colonne de référence;

$h_R$  est la plage de l'étendue de mesure R (figure 3);

$\rho_f$  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);

$\rho_g$  est la masse volumique de la vapeur dans la cuve du réacteur;

$g$  est l'accélération de la pesanteur.

Pour les opérations en arrêt à froid et pour le rechargement, la contribution de la densité eau/vapeur au  $\Delta p$  est négligeable et l'équation se simplifie en:

$$\Delta p = g(\rho_0 h_R - \rho_f h_f)$$

Water level in PWR RPVs is measured either by differential pressure instruments or heated temperature sensing devices, currently used in operating PWRs, and are applicable to VVERs.

During a reduced inventory condition in VVER 1000 (figure 2) systems, the water level in RPV outlet piping is measured either by differential pressure instruments or by ultrasonic water level monitoring devices, which are also currently used in operating PWRs. In the VVER, the RPV inlet and outlet pipe elevations differ, as shown on figure 2, so this reduced inventory condition requires that water level be measured to this lower elevation.

Core exit temperature is typically measured by core exit thermocouples and by resistance temperature detectors installed in the RPV outlet pipe. In a VVER 1000, during cold shutdown operations, core exit temperature may also be measured by detectors in the RHRS.

After RPV head removal in a VVER 440, symptoms of natural circulation flow are monitored. Detectors on the inlet and outlet piping provide core differential temperature information.

## 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 proven in PWRs and applicable to VVERs.

### 5.2.1 Differential pressure measurement

Measurement of water level in a VVER 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 pressure differential transducer (PDT) as shown by reverse acting differential pressure transmitter range "R" in figure 3. The corresponding differential pressure is defined by the equation:

$$\Delta p = g\rho_0 h_R - g [\rho_f h_f + \rho_g (h_R - h_f)]$$

where

$\Delta p$  is the differential pressure across the transmitter;

$\rho_0$  is the density of reference leg fluid (water) at the prevailing temperature of the reference leg;

$h_R$  is the height of measurement span R (figure 3);

$\rho_f$  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);

$\rho_g$  is the density of steam in the RPV;

$g$  is the gravity acceleration.

For cold shutdown maintenance or refueling operations, the steam/air density contribution to  $\Delta p$  is negligible, and the equation simplifies to:

$$\Delta p = g(\rho_0 h_R - \rho_f h_f)$$

Pour la mesure du niveau d'eau à la tuyauterie sortie cuve durant des conditions d'inventaire réduit en eau (plage M dans la figure 3) à température correspondant à l'arrêt à froid, l'équation donnant la pression différentielle est:

$$\Delta p = g(\rho_o h_M - \rho_f h_f)$$

où  $h_M$  est la plage de mesure M (figure 3).

### 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 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 ou des thermocouples ont été mis au point et appliqués dans les réacteurs à eau bouillante (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 de la tuyauterie d'entrée/de sortie de la cuve du réacteur (systèmes de la figure 2)

Le maintien d'un niveau d'eau approprié dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur pendant une condition d'inventaire réduit en eau est essentiel pour le refroidissement correct du cœur dans les réacteurs à eau légère. La mesure du niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur, qui peut être la branche chaude ou la branche froide, en fonction du sens de l'écoulement à travers la cuve du réacteur, est en conséquence une indication importante du refroidissement du cœur. Deux méthodes, décrites ci-après, sont actuellement utilisées dans les REP. Les capteurs chauffés ne sont situés qu'à des endroits sélectionnés à l'intérieur du cœur ou à la sortie du cœur. Il est improbable qu'ils garantissent une exactitude correcte pour le contrôle précis du niveau d'eau pendant des conditions intentionnelles de volume réduit.

#### 5.3.1 Mesure de la pression différentielle

La mesure du niveau d'eau dans une cuve du réacteur ou dans la tuyauterie de sortie 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 «M» des capteurs de pression différentielle à action inverse des figures 2 et 3 est applicable. Le niveau peut également être mesuré par un capteur de pression différentielle à action directe avec une branche de référence purgée connectée au pressuriseur (figure 5).

For a measurement of the RPV outlet pipe water level during reduced inventory conditions (range M in figure 3) at cold shutdown temperature, the corresponding differential pressure equation is:

$$\Delta p = g(\rho_o h_M - \rho_f h_f)$$

where

$h_M$  is the height of measurement span M (figure 3).

### 5.2.2 Heated sensor measurement

The measurement principle is based on the fact that heat transfer in water is considerably better than 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 provides the indication of the state of the surrounding fluid: a small temperature difference indicates the presence of water or 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 can be installed at different elevations within the RPV upper plenum to provide multiple indications of the water level. The sensors are shielded by a tube with only small openings at the top and bottom ends so 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 inlet/outlet pipe water level measuring devices (systems as shown in figure 2)

Maintaining the appropriate water level in RPV outlet pipes during a reduced inventory condition is essential for adequate core cooling in light water reactors. Measuring the water level in the RPV outlet pipe, which might be the hot leg or the cold leg, depending on the direction of flow through the RPV, is therefore an important core cooling indication. Two methods, described below, are currently used in PWRs. Heated sensors are located at only selected positions in the core or core exit. It is unlikely that they provide adequate accuracy for the precise control of water level during intentional reduced inventory conditions.

#### 5.3.1 Differential pressure measurement

The measurement of water level in a RPV or 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. Reverse acting pressure differential transmitter range "M" in figures 2 and 3 is applicable. Level may also be measured by a direct acting pressure differential transmitter with a drained reference leg connected to the pressurizer (figure 5).

### 5.3.2 Surveillance du niveau de fluide par ultrasons

Lors de la conception des REP, les mesures du niveau d'eau par ultrasons ne sont utilisées que pour mesurer le niveau d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur. Un capteur à ultrasons est solidement fixé à la partie inférieure de la tuyauterie. Le capteur n'est utilisé que pendant le fonctionnement en arrêt à froid avec une condition d'inventaire réduit en eau et est enlevé pendant les 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 si le fluide de refroidissement du réacteur est saturé. Les méthodes actuellement utilisées sont décrites ci-dessous.

#### 5.4.1 Thermocouples à la sortie du cœur

Le système employé pour surveiller la température à la sortie du cœur pendant les opérations normales ou anormales est utilisé pour surveiller le refroidissement du cœur pendant les fonctionnements en arrêt à chaud et peut être utilisé pour les opérations de maintenance et fonctionnement en arrêt à froid, mais n'est en général pas disponible pour surveiller le rechargement du combustible.

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

Les capteurs de température installés dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur, utilisés pour surveiller le fluide de refroidissement pendant la transition de la température ambiante à la température d'exploitation, peuvent être employés pour surveiller le refroidissement du cœur pendant le fonctionnement en arrêt à chaud et peuvent être utilisés pour le fonctionnement en arrêt à froid, si les capteurs sont couverts et se trouvent dans la voie d'écoulement active du RRA.

#### 5.4.3 Température du RRA (systèmes de la figure 2)

Les capteurs de température installés dans la tuyauterie du RRA entre la connexion de la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur et l'entrée de l'échangeur thermique du RRA peuvent être utilisés pour surveiller le refroidissement du cœur pendant le fonctionnement en arrêt à froid, si le temps de réponse du signal, retardé par le temps de transit de la sortie du cœur jusqu'à la sonde, est correct.

## 6 Exigences relatives à l'instrumentation

### 6.1 Généralités

La conception de l'instrumentation utilisée pour surveiller le refroidissement du cœur pendant les fonctionnements en arrêt à chaud et à froid doit tenir compte des facteurs suivants, en accordant une attention particulière aux exigences relatives à la surveillance du refroidissement du cœur pendant les conditions faisant état de températures élevées du fluide de refroidissement et pendant les conditions d'inventaire réduit en eau. La conception de l'instrumentation pour les conditions d'inventaire réduit en eau doit tenir compte du fait que la branche chaude ou la branche froide du circuit primaire peut être utilisée pour aspirer dans le RRA (systèmes de la figure 2) et de la possibilité d'un débit inverse dans le cœur. La réduction du volume au niveau de l'élévation de la tuyauterie des boucles implique que l'aspiration du RRA se fait à partir de la branche froide de la cuve du réacteur.

### 5.3.2 Ultrasonic liquid level monitoring

In PWR designs, ultrasonic water level measurements are used only to measure water level in the RPV outlet pipe(s). An ultrasonic sensor is firmly attached to the bottom of the pipe. The sensor is used only during cold shutdown with a reduced inventory condition and is removed during other operating modes. Ultrasonic signals pass upward through the pipe 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, 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 if the reactor coolant is subcooled. The methods currently used are described below.

### 5.4.1 Core exit thermocouples

The system employed to monitor core exit temperature during normal or abnormal operations is used for monitoring core cooling during hot shutdown operations and can be used for cold shutdown maintenance operation, but is generally not available for monitoring during refueling.

### 5.4.2 RPV outlet pipe temperature

Temperature detectors installed in the RPV outlet piping, used to monitor the coolant from ambient to operating temperature, can be used for monitoring core cooling during hot shutdown operations and may be used for cold shutdowns, if the detectors are covered and in the RHRS active flow path.

### 5.4.3 RHRS temperature (systems as shown in figure 2)

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 core cooling during cold shutdowns, if the response time of the signal, delayed by the transit time from the core exit to the detector, is adequate.

## 6 Instrumentation requirements

### 6.1 General

The design of instrumentation for monitoring core cooling during hot and cold shutdown conditions shall take account of the following factors, with particular attention directed to requirements for monitoring core cooling during conditions with elevated coolant temperatures and during reduced inventory conditions. The design of instrumentation for reduced inventory shall consider that either RCS hot leg or cold leg might be used for RHRS suction (systems shown in figure 2) and the possibility of reverse flow through the reactor core. Inventory reduction to the loop piping elevation requires RHRS suction from the RPV cold leg connection.

Pour des conditions d'inventaire en eau normal ou réduit et pour une circulation forcée, naturelle ou un débit inverse dans le cœur, l'instrumentation relative à la température doit être capable de surveiller l'évacuation de la chaleur du cœur et le débit de circulation du cœur.

### 6.1.1 Classes de sûreté

Les systèmes de mesure utilisés pour surveiller le refroidissement du cœur pendant le fonctionnement en arrêt à chaud doivent être affectés aux catégories de sûreté spécifiées dans la CEI 61226. Ces systèmes font en général partie intégrante du système de surveillance post-accidentel (SSPA) et comprennent les instruments nécessaires pour la surveillance de la marge à la saturation du fluide de refroidissement, de la température à la sortie du cœur, du choc thermique de la cuve du réacteur et du volume de fluide de refroidissement dans la cuve du réacteur ou le cœur.

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 instrumentation 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 aux normes applicables indiquées à l'article 2.

### 6.1.2 Précision et temps de réponse

La précision et le temps de réponse indiqués doivent être conformes aux exigences concernant le volume correct de fluide de refroidissement et le refroidissement du cœur pendant les fonctionnements en arrêt à chaud et à froid, et aux exigences des procédures d'urgence qui dépendent des indications pour la réussite de l'exploitation, de la commande et de la restauration après des conditions anormales telles qu'un APRP, une RTV ou une réduction du volume de fluide de refroidissement afin d'empêcher une perte de débit du RRA. Durant une condition d'inventaire réduit en eau sur une centrale VVER 1000 (système de la figure 2), les instruments utilisés pour la surveillance du refroidissement du cœur doivent comporter un indicateur analogique et avoir la précision suffisante, et leur temps de réponse doit être approprié pour empêcher toute pénétration d'air dans l'aspiration du RRA. Un indicateur analogique ou numérique peut être utilisé pour satisfaire aux exigences de précision de la mesure de niveau cuve.

### 6.1.3 Fiabilité

Le système d'instrumentation et les alimentations électriques doivent être conçus de manière à fonctionner avec une fiabilité adéquate et à respecter les exigences susmentionnées lorsqu'ils sont exposés à des conditions environnementales normales et anormales dans l'enceinte et aux conditions sismiques le cas échéant, en adoptant des dispositions concernant la séparation et la redondance ainsi que la diversité, si nécessaire.

### 6.1.4 Cas d'une défaillance unique

Les capacités de mesure de niveau d'eau et de température doivent avoir la redondance suffisante pour satisfaire au critère de défaillance unique, lorsqu'il s'applique. Pour les conditions d'inventaire en eau réduit, les considérations suivantes s'appliquent:

- fournir au moins une indication analogique continue du niveau d'eau sortie cuve. En raison de l'effet tourbillonnaire dans la buse d'entrée du RRA, la mesure sortie cuve doit être représentative des conditions à l'entrée RRA;
- un autre moyen technique qui assure un refroidissement continu approprié du cœur peut être utilisé pour fournir une surveillance du niveau d'eau en redondance.

For normal or reduced inventory and for forced circulation, natural circulation, or reverse flow through the core, temperature instrumentation shall be capable of monitoring core heat removal and core circulation flow.

#### **6.1.1 Safety classification**

Measurement systems used to monitor core cooling during hot shutdown operations shall be assigned to safety categories specified in IEC 61226. These systems are generally included as a part of the post accident monitoring system (PAMS), and include instruments for monitoring coolant subcooling margin, core exit temperature, RPV thermal shock, and the coolant inventory in the RPV or core.

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 applicable standards listed in clause 2.

#### **6.1.2 Accuracy and response time**

Indicated accuracy and response time shall meet the requirements for adequate coolant inventory and core cooling during hot or cold shutdown operation and the requirements of emergency procedures which rely on the indications for successful operation, control and recovery from abnormal conditions such as a LOCA or a SLBA or reduction in coolant inventory to preclude a loss of RHRS flow. When in a reduced inventory condition for a VVER 1000 (system as shown in figure 2), the instruments for monitoring core cooling shall have an analog indication with the appropriate accuracy and response time to preclude air ingestion into the RHRS suction. Either an analog or digital indication may be used to meet the accuracy requirements for RPV water level measurement.

#### **6.1.3 Reliability**

The instrumentation system, including power supplies, shall be designed to operate with adequate reliability and meet the requirements previously specified when exposed to the normal and abnormal containment environmental conditions, and the seismic conditions under which it is to be used, adopting separation and redundancy, and diversity as needed.

#### **6.1.4 Single failure considerations**

Temperature and water level measurement capability shall have the appropriate redundancy to meet the single failure criteria, where applied. For reduced inventory conditions, the following considerations shall apply:

- provide at least one continuous analogue indication of the 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.

Concernant le niveau au-dessus de la sortie cuve pour l'arrêt à chaud ou l'arrêt à froid, il doit y avoir au moins deux indications, analogiques ou numériques, indépendantes et continues du niveau d'eau de la cuve.

Pour toutes les conditions d'arrêt à chaud ou d'arrêt à froid, il doit y avoir au moins deux indications de température indépendantes et continues, représentatives des conditions à la sortie du cœur.

Pour les recommandations et les exigences de redondance concernant les alimentations électriques importantes pour la sûreté, se référer à la CEI 61225.

## **6.2 Mesure de la 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 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 pour la détermination de l'exactitude et de la fiabilité du système de mesure du niveau d'eau. De manière idéale, la colonne reste constante en matière de température, de hauteur et de densité et est proche de l'intervalle mesuré.

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. En cas de condition d'inventaire réduit en eau, un fonctionnement prolongé peut entraîner une éventuelle réduction de la hauteur de référence de la branche. On doit tenir compte de cette conséquence de l'inventaire réduit en eau pour assurer que la colonne de référence reste pleine ou bien utiliser un transmetteur à action directe avec une colonne de référence purgée. Un réservoir collecteur sur la partie supérieure de la ou des colonnes 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.

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, 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.

Les exigences indiquées dans la CEI 60770 sont applicables à l'approvisionnement, l'installation et l'entretien des capteurs.

### **6.2.3 Emplacement des piquages pour la mesure de pression différentielle**

Les piquages pour la mesure de pression différentielle doivent être positionnés aussi près que possible de l'intervalle à mesurer, afin d'assurer que les différences de pression dans la colonne de référence et l'intervalle mesuré ne sont dues qu'au niveau d'eau. Cette exigence s'applique aux indications du niveau d'eau de la cuve du réacteur et du niveau d'eau de la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur, mais cela est d'une importance capitale pour les plus petits intervalles dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur et afin d'obtenir la plus petite tolérance d'erreur.

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

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

For recommendations and requirements 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 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 in determining the accuracy and reliability of a water level measurement system. Ideally, the column remains constant in temperature, height and density, and is closely connected to the span being measured.

During a cold shutdown, the reference column is not subject to the conditions that may be imposed during abnormal operation, so the temperature, height and density remain stable. When in a reduced inventory condition, extended operation might result in eventual reduced reference leg height. For this reduced inventory application, consideration shall be given to ensure that the reference column is filled or else use a direct acting level transmitter with a drained reference column. A collection vessel at the top of reference leg(s) "4" in figure 3 is one method of minimizing the effect of reference column inventory loss.

The release of non-condensable gases following depressurization affects reference column height in some water level measurements (e.g. 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.

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

### **6.2.3 Differential pressure tap locations**

Differential pressure taps shall be located as close as possible to the 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 RPV outlet pipe span and smaller allowance for error.

Lorsque les piquages ne sont pas à proximité de l'intervalle mesuré, la conception des connexions entre la colonne de référence et l'intervalle mesuré doit tenir compte des 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 pouvant exister dans les systèmes de la figure 2 entre le piquage et l'intervalle mesuré, y compris les changements d'impulsion du fluide, les différences de densité, les changements de vitesse, en particulier au niveau de l'entrée du RRA.

Les figures 1 et 2 indiquent les positionnements de raccords recommandés pour la surveillance du niveau d'eau avec des mesures de la pression différentielle dans les centrales VVER, en montrant les piquages aussi près que possible de l'intervalle mesuré afin de minimiser les erreurs de mesure.

Pour l'application des capteurs à action directe mentionnés en 6.2.2, le piquage supérieur peut être positionné dans toute partie du circuit primaire, telle que la partie supérieure du réacteur ou le pressuriseur (figure 5). Si le piquage supérieur est purgé à la pression du pressuriseur, la partie supérieure du réacteur doit être purgée vers le pressuriseur ou bien le réacteur et le pressuriseur doivent être purgés à une pression statique commune afin que le capteur puisse mesurer avec précision le niveau du réacteur et du pressuriseur. Les restrictions de débit dans la ligne de purge entre le couvercle du réacteur et le pressuriseur doivent être évitées.

#### **6.2.4 Installations de la ligne d'instrumentation hydraulique**

Toutes les lignes d'instrumentation doivent être autopurgées et être en général installées avec une pente non inférieure à 1 sur 12, à moins qu'il n'existe des dispositions spéciales pour la purge et le remplissage. Lorsque le tubage scellé par impulsion est utilisé, il convient que le tubage soit installé horizontalement afin d'éviter la nécessité d'une compensation de la densité due aux différences de température des longs passages de tubes inclinés.

Les lignes d'instrumentation doivent avoir un diamètre suffisant pour faciliter la purge et le remplissage.

Les lignes ne doivent pas être utilisées pour supporter le poids des manomètres, des robinets, etc.; ces éléments doivent être supportés par des tuyaux, manchons ou accessoires en acier ou des supports appropriés.

Les supports doivent, dans la mesure du possible, être éloignés des structures ou équipements vibrants.

Les lignes d'instrumentation doivent être soutenues d'une manière appropriée et être fixées à des distances minimales spécifiées afin de résister aux vibrations et aux événements sismiques spécifiés.

Les lignes d'instrumentation flexibles sont parfois utilisées pour le découplage sismique. On doit tenir compte du fait que la vibration en fonctionnement normal des lignes flexibles peut amplifier le bruit des signaux de processus et de ce fait dégrader les mesures.

L'installation doit tenir compte de la dilatation thermique dans les lignes d'instrumentation et leurs supports pendant les conditions normales et accidentelles.

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

- Upper tap: the connection between the top of the reference column and the top of the measured span shall ensure 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 ensure that no pressure differences develop (or that pressure differences are considered in the measurement uncertainty analysis) due to dynamic conditions in the connecting path (e.g. 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 in the systems shown in figure 2 between the connection and the measured span, including fluid momentum changes, density differences, and velocity changes, especially at the RHRS inlet.

Figures 1 and 2 show recommended connection locations for water level monitoring with differential pressure measurements in VVERs, 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 reactor coolant pressure boundary such as the top of the reactor or the pressurizer (figure 5). If the upper tap is vented to the pressurizer, then the top of the reactor shall be vented to the pressurizer or both the reactor and pressurizer vented to a common static pressure in order for the transmitter to accurately measure both reactor and pressurizer level. Flow restrictions in the vent line between the reactor head and the pressurizer shall be avoided.

#### **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 impulse tubing is employed, tubing should be run horizontally to avoid the need for density compensation due to temperature differences of long, sloped tubing runs.

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

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, supports shall be kept free from vibrating structures or equipment.

Instrument line runs 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 tubing can amplify process signal noise and in this way degrade the measurement.

Installation shall take into consideration thermal expansion in the instrument lines and their supports during normal and accident conditions.

La dilatation thermique de la cuve du réacteur et de la tuyauterie doit être prise en compte dans la conception des supports.

### 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'instrumentation doit être de l'eau d'une qualité appropriée au réacteur.

Les lignes d'impulsion scellées contenant d'autres types de fluide de transmission de la pression du réacteur au capteur de pression différentielle ne doivent pas être utilisées, afin d'éviter le risque de pollution de l'eau du réacteur avec les fluides provenant de cet équipement.

### 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 distingue clairement 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.

Les thermocouples chauffés positionnés à des hauteurs sélectionnées seulement dans la cuve du réacteur ou la tuyauterie de sortie ne conviennent pas pour l'application de 5.3 car ils ne fournissent pas la précision suffisante pour un contrôle précis du niveau d'eau durant un inventaire en eau réduit.

### 6.4 Mesure du niveau d'eau par ultrasons

#### 6.4.1 Application

La surveillance par ultrasons du niveau du fluide n'est considérée comme réalisable que pour la mesure du niveau d'eau de la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur sur les systèmes de la figure 2. Le ou les capteurs à ultrasons doivent être solidement fixés à la partie inférieure de la tuyauterie d'admission et d'évacuation de la cuve du réacteur, à proximité de la connexion au RRA. La conception de la fixation doit minimiser les réflexions acoustiques au niveau de l'interface entre le capteur et la paroi de la tuyauterie.

#### 6.4.2 Exactitude et temps de réponse

Le temps de réponse doit être suffisamment rapide pour constituer la première indication disponible d'une réduction du volume d'eau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur. Il doit fournir une indication de la réduction du volume bien avant les autres indications de la dégradation du refroidissement du cœur, telles que l'intensité de courant des pompes du RRA ou l'augmentation de la température du fluide de refroidissement du réacteur. Les exigences applicables à l'exactitude doivent prendre en compte des éléments suivants:

- le niveau minimal requis dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur pour les opérations de maintenance;
- le débit maximal requis du RRA afin d'évacuer le maximum de puissance résiduelle supposée pendant la maintenance et l'étendue du vortex à son débit maximal.

In the design of the supports, the thermal expansion of the RPV and piping shall be taken into consideration.

### **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.

Sealed impulse lines containing other types of fluid for transmission of pressure from the reactor to the differential pressure transmitter shall not be used, to avoid the risk of polluting reactor water with fluids from this equipment.

### **6.3 Heated sensor measurement**

Requirements for the heated sensor described in 5.2.2 are:

- the device shall provide an output signal which clearly differentiates 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 measuring RPV outlet pipe water level on systems shown in figure 2. The ultrasonic sensor(s) shall be securely attached to the bottom of the RPV inlet and outlet pipe, near the connection to the RHRS. The attachment design shall minimize acoustic reflections at the interface between sensor and pipe wall.

#### **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. It shall provide an indication of inventory reduction well in advance of other degraded core cooling indications such as RHRS pump(s) amperage or increases in reactor coolant temperature. The accuracy requirements shall consider the following:

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

### 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 gêne occasionnée par un entrefer sur 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 dont 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 car 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

Lors des conditions d'inventaire réduit en eau, une indication analogique du niveau dans la tuyauterie de sortie de la cuve du réacteur doit être fournie. Dans la mesure où le niveau requis dans la tuyauterie de sortie est une fonction du débit de la buse d'aspiration de la ou des pompes du RRA, une corrélation du débit du RRA et du niveau requis doit être disponible dans la salle de commande et peut faire partie intégrante de l'affichage de l'interface homme/machine.

### 6.5 Dispositifs de mesure de température

Les exigences spécifiques formulées dans le présent paragraphe sont applicables à tous les dispositifs de mesure mentionnés en 5.3.

Les capteurs de température doivent être submergés dans la voie active d'écoulement évacuant la chaleur du cœur et être positionnés en tenant compte du retard dû à la circulation depuis le cœur jusqu'au capteur par rapport au temps de réponse requis. L'instrumentation de mesure de niveau utilisée durant les conditions d'inventaire en eau réduit doit confirmer que les capteurs de température redondants sont submergés.

## 7 Traitement des données

La conception du traitement des données doit être en conformité avec les exigences de la CEI 60880 et de la CEI 60987 si les systèmes sont numériques.

## 8 Présentation des informations

Les exigences stipulées dans la CEI 60964 et la CEI 61227 sont applicables. La conception de l'affichage de l'instrumentation doit en particulier tenir compte des 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;
- 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 défectueux.

### 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 will affect the acoustic transmission signal. Sensors shall be located on the RPV outlet pipes in a section of the outlet pipe whose 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 because the level in this section is slightly lower than in other sections.

### 6.4.4 Special human machine interface considerations

For reduced inventory conditions an analogue indication of level in the RPV outlet pipe shall be provided. Because 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, and located considering 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 temperatures are submerged.

## 7 Data processing

The design of data processing shall comply with the requirements of IEC 60880 and IEC 60987 if the equipment is computer based.

## 8 Presentation of information

The requirements in IEC 60964 and IEC 61227 are applicable. The design of the instrumentation display shall take into consideration 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 color coding;
- response time;
- 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.

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 que les mêmes instruments que ceux employés pour les opérations normales de la centrale soient utilisés pour surveiller les accidents afin de permettre aux opérateurs d'utiliser, pendant les situations accidentelles, les instruments avec lesquels ils sont le plus familiarisés.

## **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 à permettre de vérifier, avant leur utilisation et à intervalles réguliers, qu'ils fonctionnent conformément à leur performance spécifiée. Les caractéristiques de conception doivent être incluses afin de faciliter l'étalonnage requis (article 9), les contrôles de routine de la performance et tout autre contrôle nécessaire pour respecter les exigences définies afin d'assurer la fonction de sûreté 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 les systèmes de mesure utilisés pour surveiller le refroidissement du cœur pendant les fonctionnements en arrêt à chaud ou à froid sont classés comme instrumentation de sûreté, l'instrumentation de sûreté doit être qualifiée conformément à la CEI 60780. La qualification s'applique à la totalité de la ligne d'instrumentation, du capteur jusqu'à l'affichage lorsque l'affichage est un indicateur ou un enregistreur direct. Si la ligne d'instrumentation inclut un équipement programmé, la CEI 60880 et la CEI 60987 sont applicables.

Le cas échéant, il convient que la partie applicable de la qualification sismique soit conforme à la CEI 60980. Si nécessaire, il est recommandé que le système de mesure fonctionne avec la précision requise pendant un tremblement de terre.

## **12 Documentation**

La conception ainsi que l'historique opérationnel de l'instrumentation doivent être documentés. La documentation doit inclure les calculs, rapports, dessins, documents de qualification, fiches d'étalonnage, rapports de défaillance, modes d'emploi et instructions de maintenance, etc. nécessaires. La documentation doit toujours indiquer l'état réel de l'équipement et son historique.

Les articles applicables de la CEI 60780, la CEI 60880 et la CEI 60987 doivent être appliqués.

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

Where possible, the same instruments should be used for accident monitoring as are used for the normal operations of the plant to enable the operators to use, during accident situations, 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 (clause 9), routine performance checks and any other testing to meet requirements defined to ensure the safety function 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**

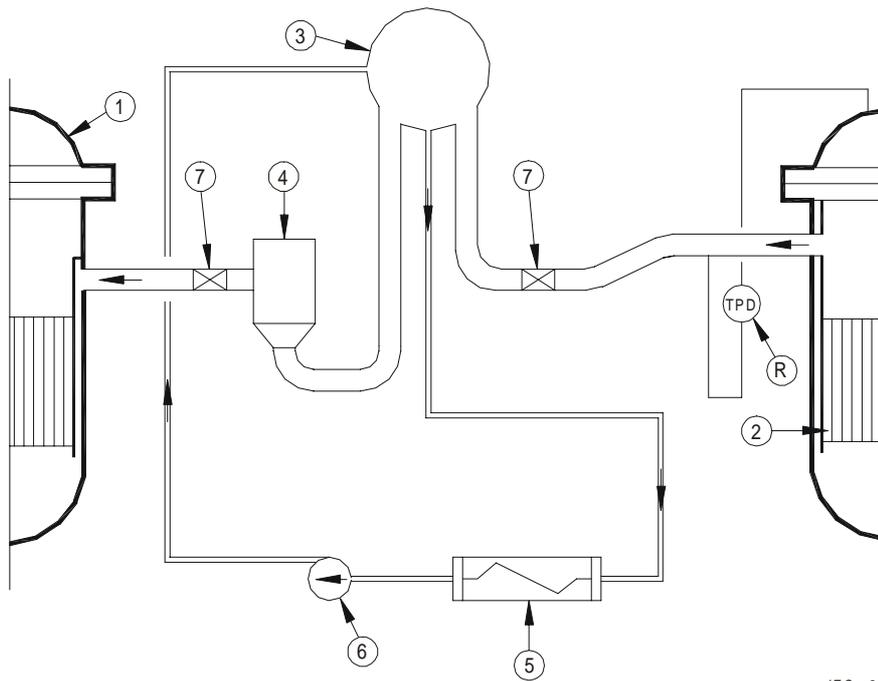
If measurement systems for monitoring core cooling during a hot or cold shutdown are classified as safety instrumentation, the safety instrumentation shall be qualified in accordance with IEC 60780. Qualification applies to the complete instrumentation channel from sensor to display where the display is a direct indicating meter or recording device. If the instrumentation channel includes micro-processor based equipment, IEC 60880 and IEC 60987 shall apply.

The applied portion of seismic qualification should, if applicable, be in accordance with IEC 60980. If required, the measuring system should function within the required accuracy during an earthquake.

## **12 Documentation**

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

Applicable clauses of IEC 60780, IEC 60880 and IEC 60987, shall apply.



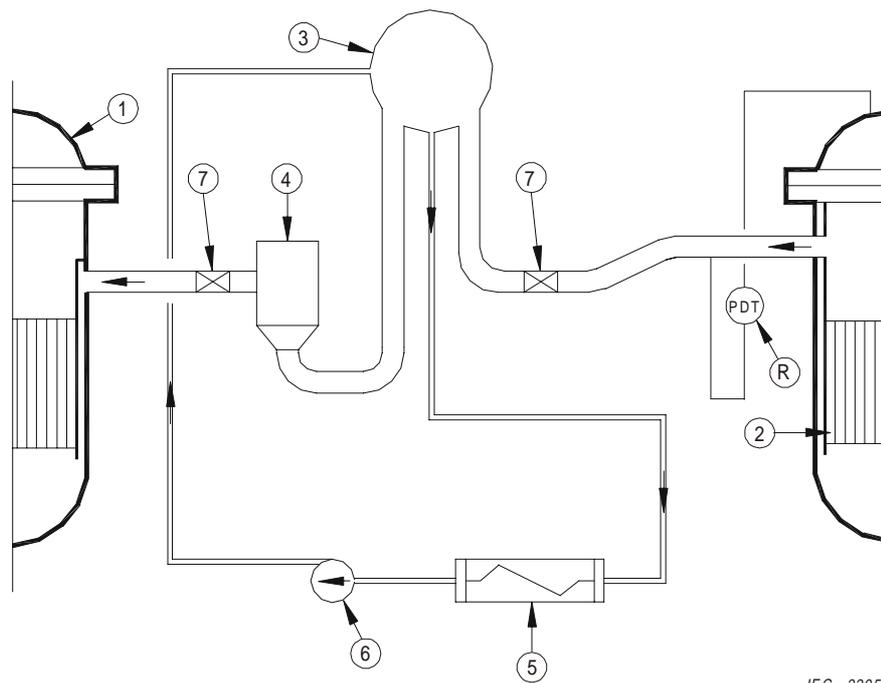
- 1 Cuve du réacteur
- 2 Cœur du réacteur
- 3 Générateur de vapeur
- 4 Pompe primaire
- 5 Echangeur de chaleur résiduelle
- 6 Pompe d'évacuation de chaleur résiduelle
- 7 Vanne d'isolement de boucle
- R Mesure  $\Delta p$  du niveau cuve
- TPD Transmetteur de pression différentielle

NOTE 1 L'échangeur de chaleur résiduelle peut fonctionner en deux modes:

- fonctionnement vapeur/eau (comme condenseur de rejets) avec retour d'écoulement aux générateurs de vapeur via le réservoir à eau alimentaire;
- fonctionnement eau/eau avec retour d'écoulement direct aux générateurs de vapeur.

NOTE 2 Le but de cette figure est de montrer l'évacuation de chaleur résiduelle à travers le circuit secondaire et la présence de vannes d'isolement de boucle.

**Figure 1 – Configuration du REP: VVER-440 – Générateurs de vapeur horizontaux**



IEC 2295/2000

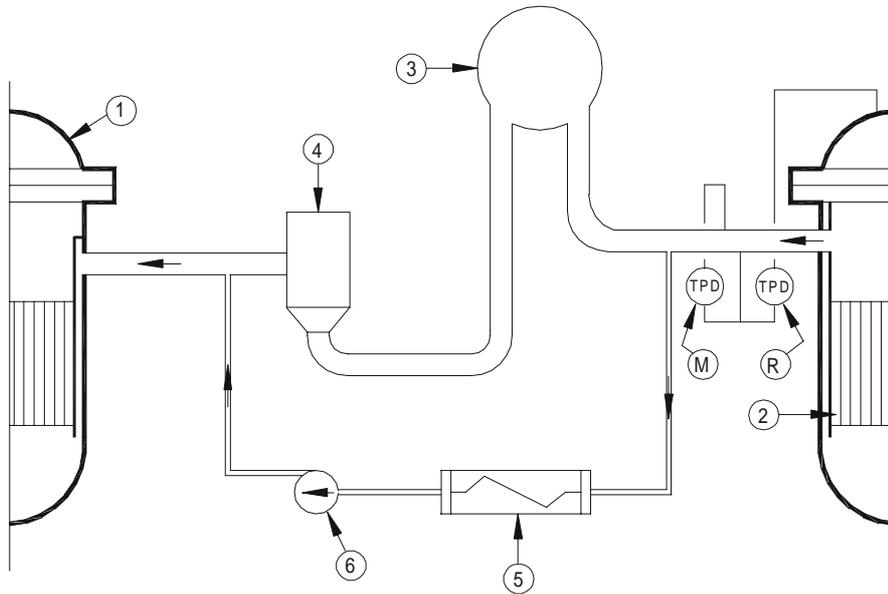
- 1 Reactor pressure vessel
- 2 Reactor core
- 3 Steam generator
- 4 Reactor coolant pump
- 5 Residual heat exchanger
- 6 Residual heat removal pump
- 7 Loop isolation valves
- R RPV water level  $\Delta p$  measurement
- PDT Pressure differential transmitter

NOTE 1 The residual heat exchanger can be operated in two modes:

- steam/water operation (as a dump condenser) with return flow to the steam generators via the feedwater tank;
- water/water operation with return flow directly to the steam generators

NOTE 2 The significance of the figure is to show the residual heat removal through the secondary coolant and presence of loop isolation valves.

**Figure 1 – PWR configuration: (VVER-440) – Horizontal steam generators**

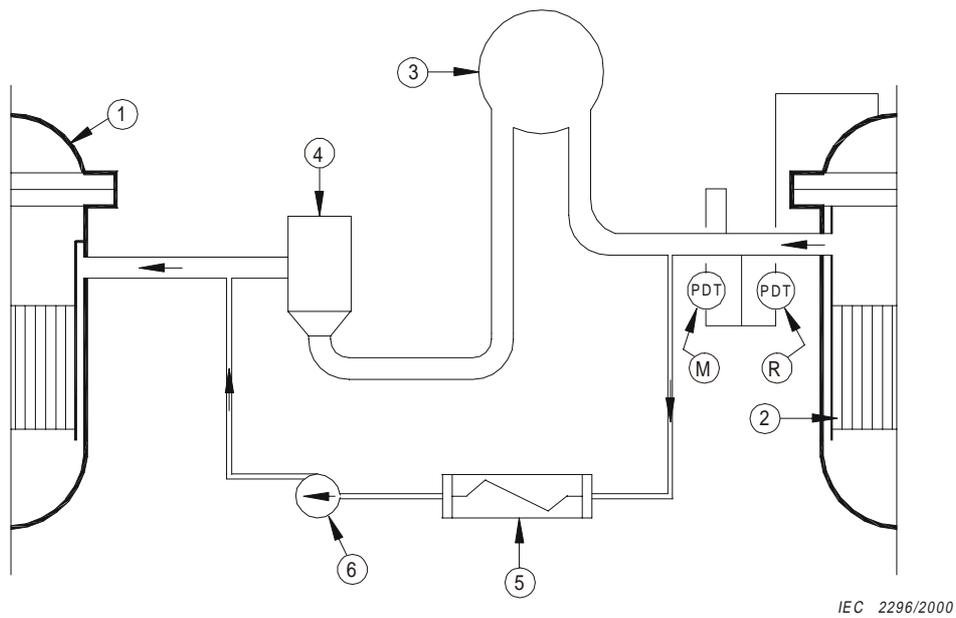


IEC 2296/2000

- 1 Cuve du réacteur
- 2 Cœur du réacteur
- 3 Générateur de vapeur
- 4 Pompe primaire
- 5 Echangeur de chaleur résiduelle
- 6 Pompe d'évacuation de chaleur résiduelle
- R Mesure  $\Delta p$  du niveau cuve
- M Mesure  $\Delta p$  du niveau d'eau sortie cuve
- TPD Transmetteur de pression différentielle

NOTE La configuration du RRA et sa connexion à la cuve du réacteur sont représentées de manière simplifiée.

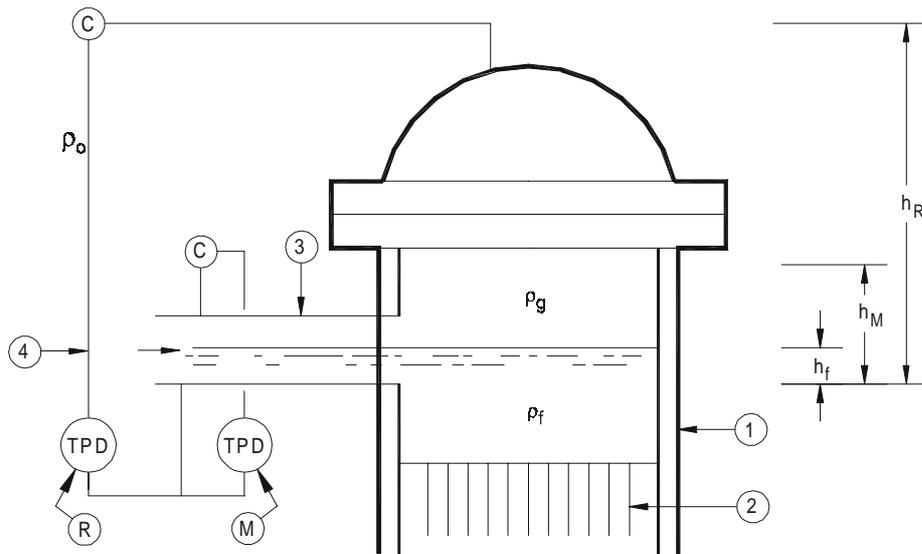
**Figure 2 – Configuration du REP: VVER-1000 – Générateurs de vapeur horizontaux**



- 1 Reactor pressure vessel
- 2 Reactor core
- 3 Steam generator
- 4 Reactor coolant pump
- 5 Residual heat exchanger
- 6 Residual heat removal pump
- R RPV water level  $\Delta p$  measurement
- M RPV outlet pipe water level  $\Delta p$  measurement
- PDT Pressure differential transmitter

NOTE The RHRS piping configuration and connection to the RPV inlet and outlet pipes are represented in simplified form.

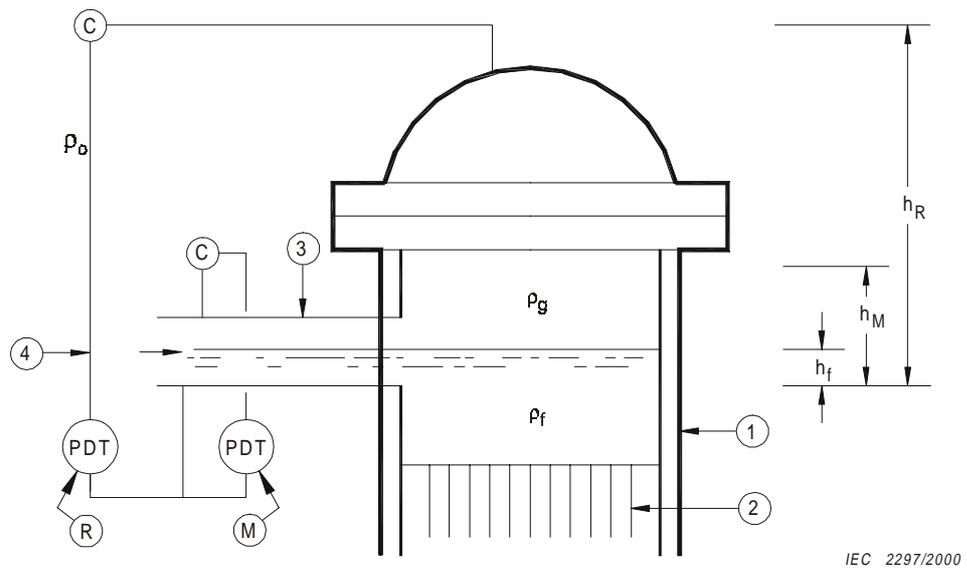
**Figure 2 – PWR configuration: (VVER-1000) – Horizontal steam generators**



IEC 2297/2000

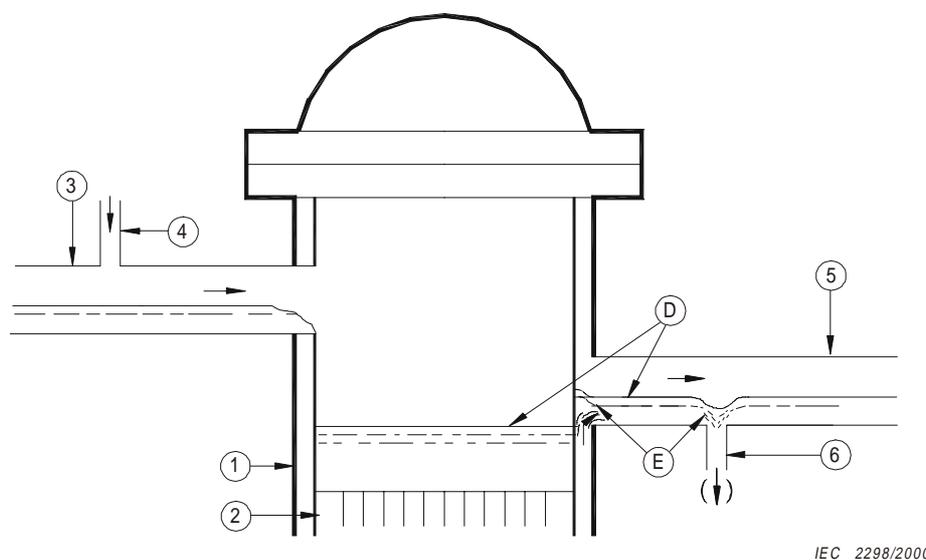
- 1 Cuve du réacteur
- 2 Cœur du réacteur
- 3 Tuyauterie sortie cuve
- 4 Colonne de référence d'étendues de mesure  $h_M$  et  $h_R$
- R Mesure  $\Delta p$  du niveau cuve
- M Mesure  $\Delta p$  du niveau d'eau sortie cuve
- C Réservoir collecteur
- TPD Transmetteur de pression différentielle

**Figure 3 – Mesure du niveau d'eau par la méthode de la pression différentielle (système VVER 1000)**



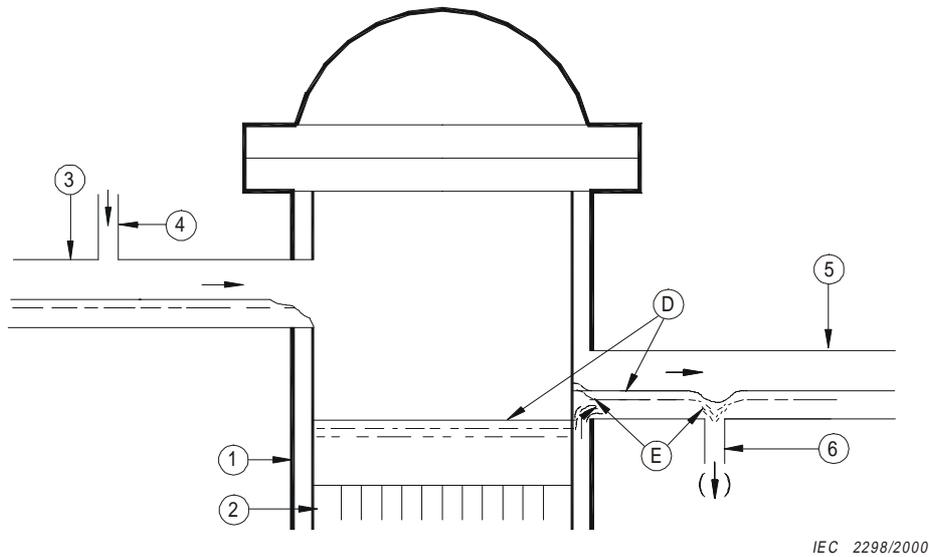
- 1 Reactor pressure vessel
- 2 Reactor core
- 3 RPV outlet pipe
- 4 Reference leg of spans  $h_M$  and  $h_R$
- R RPV water level  $\Delta p$  measurement
- M RPV outlet pipe water level  $\Delta p$  measurement
- C Collection vessel
- PDT Pressure differential transmitter

**Figure 3 – Water level measurement by differential pressure method for VVER 1000**



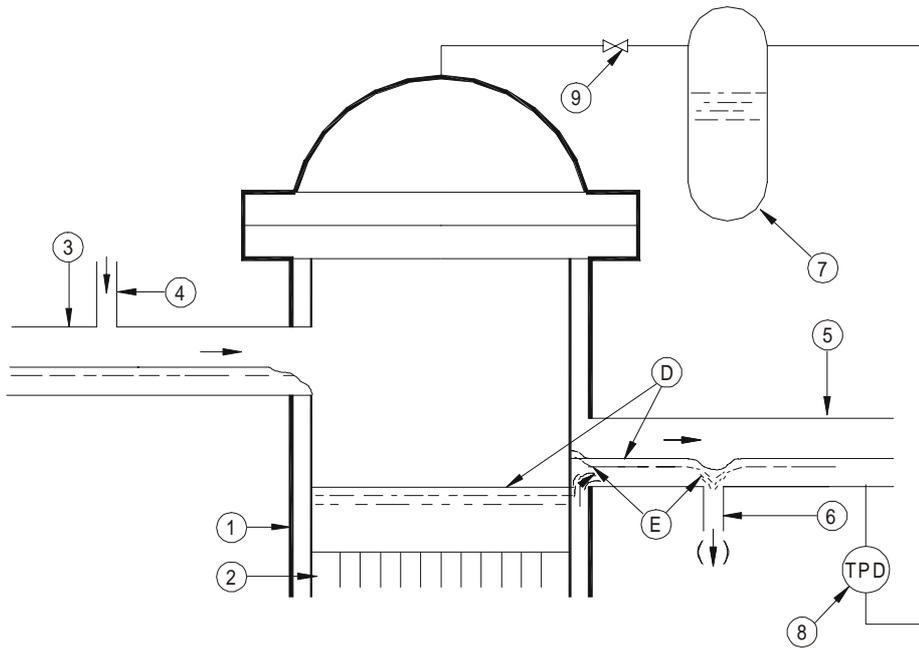
- 1 Cuve du réacteur
- 2 Cœur du réacteur
- 3 Tuyauterie sortie cuve (en inventaire en eau réduit, le changement de configuration du RRA inverse le débit dans le réacteur comme indiqué par les flèches)
- 4 Tuyauterie entrée du RRA (en inventaire en eau réduit, le changement de configuration du RRA inverse le débit dans le réacteur comme indiqué par les flèches)
- 5 Tuyauterie entrée cuve (en inventaire en eau réduit, le changement de configuration du RRA inverse le débit dans le réacteur comme indiqué par les flèches)
- 6 Tuyauterie sortie RRA (en inventaire en eau réduit, le changement de configuration du RRA inverse le débit dans le réacteur comme indiqué par les flèches)
- D Différence de densité
- E Pertes en sortie; augmentation de vitesse

**Figure 4 – Considérations thermohydrauliques affectant les mesures du niveau d'eau (système VVER 1000) en inventaire en eau réduit et débit inversé**



- 1 Reactor pressure vessel
- 2 Reactor core
- 3 Reactor pressure vessel outlet pipe (at reduced inventory, the RHR configuration change causes reverse reactor flow as shown by the flow direction arrow)
- 4 Residual heat removal inlet pipe (at reduced inventory, the RHR configuration change causes reverse reactor flow as shown by the flow direction arrow)
- 5 Reactor pressure vessel inlet pipe (at reduced inventory, the RHR configuration change causes reverse reactor flow as shown by the flow direction arrow)
- 6 Residual heat removal outlet pipe (at reduced inventory, the RHR configuration change causes reverse reactor flow as shown by the flow direction arrow)
- D Density difference
- E Exit losses; velocity increase

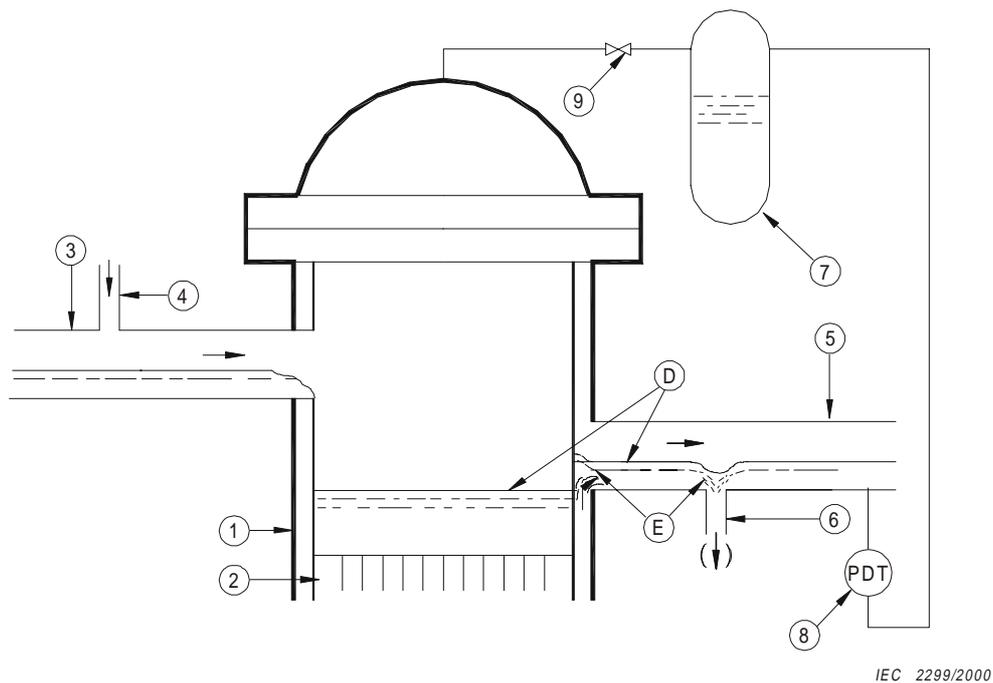
**Figure 4 – Thermal-hydraulic considerations affecting water level measurements (VVER-1000 systems) at reduced inventory and reverse flow**



IEC 2299/2000

- 1 Cuve du réacteur
  - 2 Cœur du réacteur
  - 3 Tuyauterie sortie cuve (en inventaire en eau réduit, le changement de configuration du RRA inverse le débit dans le réacteur comme indiqué par les flèches)
  - 4 Tuyauterie entrée du RRA (en inventaire en eau réduit, le changement de configuration du RRA inverse le débit dans le réacteur comme indiqué par les flèches)
  - 5 Tuyauterie entrée cuve (en inventaire en eau réduit, le changement de configuration du RRA inverse le débit dans le réacteur comme indiqué par les flèches)
  - 6 Tuyauterie sortie RRA (en inventaire en eau réduit, le changement de configuration du RRA inverse le débit dans le réacteur comme indiqué par les flèches)
  - 7 Pressuriseur
  - 8 Transmetteur de pression différentielle à action directe
  - 9 Ligne d'équilibrage de la pression réacteur/pressuriseur
  - D Différence de densité
  - E Pertes en sortie; augmentation de vitesse
- TPD Transmetteur de pression différentielle

**Figure 5 – Mesure du niveau d'eau par un capteur à action directe (système VVER 1000) en inventaire en eau réduit et débit inversé**



- 1 Reactor pressure vessel
  - 2 Reactor core
  - 3 Reactor pressure vessel outlet pipe (at reduced inventory, the RHR configuration change causes reverse reactor flow as shown by the flow direction arrow)
  - 4 Residual heat removal inlet pipe (at reduced inventory, the RHR configuration change causes reverse reactor flow as shown by the flow direction arrow)
  - 5 Reactor pressure vessel inlet pipe (at reduced inventory, the RHR configuration change causes reverse reactor flow as shown by the flow direction arrow)
  - 6 Residual heat removal outlet pipe (at reduced inventory, the RHR configuration change causes reverse reactor flow as shown by the flow direction arrow)
  - 7 Pressurizer
  - 8 Direct acting pressure differential transmitter
  - 9 Reactor/pressurizer pressure balancing line
  - D Density difference
  - E Exit losses; velocity increase
- PDT Pressure differential transmitter

**Figure 5 – Water level measurement by direct acting transmitter (VVER-1000 systems) at reduced inventory and reverse flow**

**Annexe A**  
(informative)

**Evénements avec une dégradation potentielle du refroidissement  
du cœur dans les VVER**

<b>Date</b>	<b>Centrale/Pays</b>	<b>Référence</b>	<b>Incident</b>
12/75	Greifswald 1 (VVER 440), ex RDG	Mission Asset 1989	10/84 Perte de puissance externe lors de l'arrêt de l'unité pour le rechargement en combustible
10/84	Bohunice 2 (VVER-440), ex R.F. tchèque et slovaque	IRS-0006032	Perte de puissance externe lors de l'arrêt de l'unité pour le rechargement en combustible
4/85	Dukovany 1 (VVER 440), ex R.F. tchèque et slovaque	IRS-0006068	Perte de puissance externe
6/86	Bohunice 3 (VVER-440), ex R.F. tchèque et slovaque	IRS-0006067	Dégradation du refroidissement de la circulation naturelle
2/93	Kola 1 and 2 (VVER-440), Russie	IRS-0006339	Perte totale de puissance à la centrale nucléaire de Kola, causée par des perturbations du réseau dues à une tornade
9/93	Paks 2 (VVER-440), Hongrie	IRS-0006386	Détérioration de la circulation naturelle dans le système de refroidissement du réacteur

## Annex A (informative)

### Events with potential core cooling degradation at VVERs

Date	Plant/Country	Reference	Incident
12/75	Greifswald 1 (VVER 440), former GDR	Asset-Mission 1989	10/84 Loss of off-site power at unit shutdown for refuelling
10/84	Bohunice 2 (VVER-440), former Czech and Slovak F.R.	IRS-0006032	Loss of off-site power at unit shutdown for refuelling
4/85	Dukovany 1 (VVER 440), former Czech and Slovak F.R.	IRS-0006068	Loss of off-site power
6/86	Bohunice 3 (VVER-440), former Czech and Slovak F.R.	IRS-0006067	Degradation of natural circulation cooling
2/93	Kola 1 and 2 (VVER-440), Russia	IRS-0006339	Total loss of power at Kola NPP Units caused by grid disturbances due to a tornado
9/93	Paks 2 (VVER-440), Hungary	IRS-0006386	Deterioration of natural circulation in the reactor coolant system

## Annexe B (informative)

### Etats de fonctionnement de la centrale

Pendant la mise à l'arrêt à chaud et à froid de la centrale, divers états de fonctionnement de la centrale et diverses configurations du système sont employés avec le refroidissement du cœur prévu par les différents systèmes. La définition des états de fonctionnement de la centrale est différente entre les centrales VVER-440 et VVER-1000, tout comme il existe des définitions différentes pour les états de fonctionnement de la centrale entre les centrales utilisant le même type de réacteur. Les exemples typiques pour les centrales VVER-440 et VVER-1000 sont indiqués dans les tableaux B.1 et B.2.

**Tableau B.1 – VVER-440**

Position	Définition	Température du fluide de refroidissement du réacteur	Inventaire du fluide de refroidissement du réacteur	Nombre de boucles opérationnelles	Evacuation de la chaleur
1	Fonctionnement à la puissance nulle (réacteur arrêté d'urgence, puissance $\leq 2\%$ )	Entre 245 °C et 265 °C	Plein, N <sub>2</sub>	Toutes	Relâchement de vapeur dans le condenseur principal via les vannes de contournement de la turbine
2	Arrêt à chaud	$\geq 245$ °C	Plein, N <sub>2</sub>	Toutes	Rejet de vapeur dans les condenseurs de rejets du RRA secondaire, circulation forcée du fluide de refroidissement dans le système de refroidissement du réacteur
3	Arrêt intermédiaire	<245 °C	Plein, N <sub>2</sub>	2	Circulation naturelle du fluide de refroidissement, refroidissement de l'eau dans le RRA secondaire + fonctionnement normal du RRA secondaire
4	Arrêt intermédiaire	<245 °C	Solide ou plein, N <sub>2</sub>	2	Fonctionnement normal du RRA secondaire
5	Arrêt à froid	<70 °C	Niveau supérieur à la bride de la cuve du réacteur	2	Fonctionnement normal du RRA secondaire
6	Arrêt à froid, réacteur ouvert	<70 °C	Niveau inférieur à la bride de la cuve du réacteur non étanche	2	Fonctionnement normal du RRA secondaire
7	Arrêt à froid, réacteur ouvert	<70 °C	Remplissage de la cuve du réacteur	2	Fonctionnement normal du RRA secondaire
8	Arrêt à froid, CR inondée et connectée à la piscine de stockage du combustible usé (PSCU)	<70 °C	Cœur réacteur-Piscine combustible usagé interconnecté	–	Fonctionnement normal du RRA secondaire + refroidissement de la piscine combustible usagé
9	Arrêt à froid, combustible évacué	Non applicable	Piscine combustible usagé pleine	–	Refroidissement de la piscine combustible usagé
10	Arrêt à froid	<70 °C	Boucle isolée	2	Fonctionnement normal du RRA secondaire

## Annex B (informative)

### Plant operating states

During hot and cold plant shutdown, various plant operating states and system configurations are employed with core cooling provided by different systems. The definition of plant operational states is different between VVER-440 and VVER-1000 plants, as well as there being different definitions for plant operational states between plants employing the same type of reactor. Typical examples for VVER-440 and VVER-1000 are given in tables B.1 and B.2.

**Table B.1 – VVER-440**

Position	Definition	Reactor coolant mean temperature	Reactor coolant inventory	Number of loops operated	Heat removal
1	No output state (reactor tripped, $\leq 2$ % power)	Between 245 °C and 265 °C	Full, N <sub>2</sub>	All	Steam dump into main condenser via turbine bypass valves
2	Hot state (hot shutdown)	$\geq 245$ °C	Full, N <sub>2</sub>	All	Steam dump into dump condensers of secondary RHRS, forced circulation of coolant in reactor coolant system
3	Semi-hot state	$< 245$ °C	Full, N <sub>2</sub>	2	Natural circulation of coolant, water cooling in secondary RHRS + normal operation of secondary RHRS
4	Semi-hot state	$< 245$ °C	Solid or full, N <sub>2</sub>	2	Normal operation of secondary RHRS
5	Cold shutdown (cold state)	$< 70$ °C	Above reactor vessel flange	2	Normal operation of secondary RHRS
6	Cold shutdown, reactor open	$< 70$ °C	Below reactor vessel flange, reactor vessel flange unsealed	2	Normal operation of secondary RHRS
7	Cold shutdown, reactor open	$< 70$ °C	Filling up reactor cavity	2	Normal operation of secondary RHRS
8	Cold shutdown, reactor core flooded and connected to spent fuel pool	$< 70$ °C	Reactor core-spent fuel pool inter-connected	–	Normal operation of secondary RHRS + spent fuel pool cooling
9	Cold shutdown, fuel removed	Not applicable	Spent fuel pool full	–	Spent fuel pool cooling
10	Cold shutdown	$< 70$ °C	Loop isolated	2	Normal operation of secondary RHRS

**Tableau B.2 – VVER-1000**

Position	Définition	Température du fluide de refroidissement du réacteur	Inventaire du fluide de refroidissement du réacteur	Evacuation de la chaleur
1	Fonctionnement à la puissance nulle (réacteur arrêté d'urgence)	>260 °C	Plein, N <sub>2</sub>	Relâchement de vapeur dans le condenseur principal via les vannes de contournement de la turbine, circulation forcée du fluide de refroidissement du réacteur
2	Etat chaud (arrêt à chaud)	>245 °C	Plein, N <sub>2</sub>	Relâchement de vapeur dans le condenseur principal via les vannes de contournement de la turbine, circulation forcée du fluide de refroidissement du réacteur
3	Etat intermédiaire	>150 °C	Plein, solide ou N <sub>2</sub>	Refroidissement du réacteur à l'arrêt
4	Arrêt à froid (état à froid), réacteur ouvert	<70 °C	Solide ou plein, N <sub>2</sub>	Refroidissement du réacteur à l'arrêt
5	Arrêt à froid, réacteur ouvert	<70 °C	Au dessus des brides de la cuve du réacteur	Refroidissement du réacteur à l'arrêt
6	Arrêt à froid, réacteur ouvert	<70 °C	Inférieur aux brides de la cuve du réacteur non étanchés	Refroidissement du réacteur à l'arrêt
7	Arrêt à froid, réacteur ouvert	<70 °C	Remplissage de la cuve du réacteur (CR)	Refroidissement du réacteur à l'arrêt
8	Arrêt à froid, réacteur vide	<60 °C	Piscine de combustible usagé pleine	Refroidissement de la piscine de combustible usagé
9	Arrêt à froid, réacteur ouvert, maintenance	<60 °C	Maintenance	Refroidissement du réacteur à l'arrêt

**Table B.2 – VVER 1000**

Position	Definition	Reactor coolant temperature	Reactor coolant inventory	Heat removal
1	No output state (reactor tripped, $\leq 2$ % power)	$>260$ °C	Full, N <sub>2</sub>	Steam dump into main condenser via turbine bypass valves, forced circulation of reactor coolant
2	Hot state (hot shutdown)	$>245$ °C	Full, N <sub>2</sub>	Steam dump into main condenser via turbine bypass valves, forced circulation of reactor coolant
3	Semi hot state	$>150$ °C	Full, solid or N <sub>2</sub>	RHRS
4	Cold shutdown (cold state), reactor open	$<70$ °C	Solid or full, N <sub>2</sub>	RHRS
5	Cold shutdown, reactor open	$<70$ °C	Above reactor vessel flange	RHRS
6	Cold shutdown, reactor open	$<70$ °C	Below reactor vessel flange, reactor vessel flange unsealed	RHRS
7	Cold shutdown, reactor open	$<70$ °C	Filling up reactor cavity	RHRS
8	Cold shutdown, reactor empty	$<60$ °C	Spent fuel pool full	Spent fuel pool cooling
9	Cold shutdown, reactor open, maintenance	$<60$ °C	Maintenance	RHRS

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.

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
Ne pas affranchir



Non affrancare  
No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**

**SUISSE**

Customer Service Centre (CSC)

**International Electrotechnical Commission**

3, rue de Varembé

1211 GENEVA 20

Switzerland



**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:

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





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 Varembe  
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.

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
Ne pas affranchir



Non affrancare  
No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**

**SUISSE**

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



**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.

ISBN 2-8318-5514-4



9 782831 855141

---

**ICS 27.120.20**

---