

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1343**

Première édition
First edition
1996-03

Instrumentation des réacteurs nucléaires –

**Réacteurs à eau bouillante (BWR) –
Mesures dans la cuve
pour la surveillance adéquate
du refroidissement du coeur**

Nuclear reactor instrumentation –

**Boiling light water reactors (BWR) –
Measurements in the reactor vessel
for monitoring adequate cooling
within the core**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1343: 1996

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
1343**

Première édition
First edition
1996-03

**Instrumentation des réacteurs nucléaires –
Réacteurs à eau bouillante (BWR) –
Mesures dans la cuve
pour la surveillance adéquate
du refroidissement du coeur**

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

© CEI 1996 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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

T

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application et objet	6
2 Références normatives	8
3 Définitions	10
4 Conditions de fonctionnement	12
4.1 Fonctionnement normal	12
4.2 Fonctionnement anormal	12
5 Méthodes de mesure	14
5.1 Dispositif de mesure du niveau d'eau	16
5.2 Capteurs de température	18
6 Prescriptions de l'instrumentation	20
6.1 Mesure de la pression différentielle	20
6.2 Interrupteur à flotteur	26
6.3 Surveillance du niveau d'eau par ultrasons	26
6.4 Capteurs de température	26
7 Traitement des données	28
8 Présentation de l'information	28
9 Prescriptions de redondance et de diversité	30
10 Vérification et étalonnage	30
11 Essais et entretien en service	30
12 Qualification	30
13 Documentation	32
Figures	
1 Les quatre méthodes de circulation du réfrigérant à travers le cœur d'un BWR	34
2 Principe physique de la mesure du niveau d'eau dans la cuve du réacteur par la méthode de la pression différentielle	36
3 Mesures du niveau d'eau dans la cuve du réacteur par la méthode de la pression différentielle	38
4 Refroidissement du cœur et moniteur de température	44
Annexes	
A Vérification et qualification	46
B Essais et maintenance	48
C Bibliographie	50

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope and object	7
2 Normative references.....	9
3 Definitions.....	11
4 Operational conditions.....	13
4.1 Normal operation.....	13
4.2 Abnormal operation.....	13
5 Measurement methods	15
5.1 Water-level measuring devices.....	17
5.2 Temperature sensing devices.....	19
6 Instrumentation requirements	21
6.1 Differential pressure measurement.....	21
6.2 Float switches	27
6.3 Ultrasonic liquid level monitoring.....	27
6.4 Temperature sensing devices.....	27
7 Data processing.....	29
8 Presentation of information	29
9 Requirements for redundancy and diversity	31
10 Verification and calibration	31
11 In-service testing and maintenance.....	31
12 Qualification.....	31
13 Documentation	33
Figures	
1 The four methods of coolant circulation through the core of a BWR	35
2 Physical principle of a reactor vessel level measurement by differential pressure method ..	37
3 Reactor vessel level measurements by differential pressure method.....	39
4 Core cooling and temperature monitor.....	45
Annexes	
A Verification and qualification.....	47
B Testing and maintenance	49
C Bibliography	50

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**INSTRUMENTATION DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES —
RÉACTEURS À EAU BOUILLANTE (BWR) —
MESURES DANS LA CUVE POUR LA SURVEILLANCE ADÉQUATE
DU REFROIDISSEMENT DU COEUR**

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant des 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 sous forme de normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure du 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 1343 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/207/FDIS	45A/218/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.

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**NUCLEAR REACTOR INSTRUMENTATION —
BOILING LIGHT WATER REACTORS (BWR) —
MEASUREMENTS IN THE REACTOR VESSEL FOR MONITORING
ADEQUATE COOLING WITHIN THE CORE**

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 cooperation 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 organisations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, express as nearly as possible an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible of identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 1343 has been prepared by sub-committee 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/207/FDIS	45A/218/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.

Annexes A, B and C are for information only.

INSTRUMENTATION DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES — RÉACTEURS À EAU BOUILLANTE (BWR) — MESURES DANS LA CUVE POUR LA SURVEILLANCE ADÉQUATE DU REFROIDISSEMENT DU CŒUR

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale s'applique à la surveillance adéquate du refroidissement du cœur d'un réacteur BWR.

Le refroidissement correct du cœur du réacteur peut être réalisé seulement en maintenant une quantité suffisante du fluide réfrigérant dans le cœur, afin d'en évacuer la chaleur.

Il convient de noter que cette norme ne couvre pas les réacteurs à eau bouillante à tubes de force. Dans les réacteurs à eau bouillante existants, la même instrumentation est utilisée pour la surveillance du refroidissement du cœur en fonctionnement normal et dans des conditions accidentelles.

Il est important que les opérateurs de la centrale et les systèmes de sécurité disposent d'informations fiables sur la quantité de réfrigérant dans la cuve du réacteur.

Ces informations concernent habituellement le cœur et s'expriment spécifiquement par le niveau de l'eau ou du mélange eau/vapeur au-dessus ou au-dessous du bord supérieur du combustible actif des faisceaux de combustible. Dans certains cas, la présence du mélange de vapeur et d'eau peut être également détectée au moyen de capteurs de température refroidis par la veine liquide du réfrigérant.

Les méthodes pratiquées avec succès au plan international et utilisables pour la conception de nouveaux systèmes de surveillance du refroidissement du cœur des centrales BWR ou pour l'amélioration des dispositifs existants sont résumées ici.

Des prescriptions sont données pour l'instrumentation de la surveillance du refroidissement du cœur afin d'assurer le fonctionnement correct des BWR en périodes de fonctionnement normal, pendant et après des accidents de référence (ADR). Des prescriptions ne sont pas données pour la surveillance du refroidissement du cœur dans des situations dépassant les ADR qui pourrait être une prescription ou une considération nationale spécifique.

Le système de surveillance du refroidissement est appelé à fonctionner dans des conditions très différentes. La présente norme énumère les circonstances dans lesquelles ces systèmes de mesure seront capables de fonctionner. Les descriptions de différents principes de mesures et dispositifs appropriés sont données avec les prescriptions pour les conditions suivantes:

- conditions de fonctionnement;
- installation;
- visualisation pour les opérateurs;
- essais, étalonnage et maintenance;
- qualification des matériels;
- documentation.

Cette norme présente également les applications types dans les centrales en fonctionnement avec différents types de BWR.

NUCLEAR REACTOR INSTRUMENTATION — BOILING LIGHT WATER REACTORS (BWR) — MEASUREMENTS IN THE REACTOR VESSEL FOR MONITORING ADEQUATE COOLING WITHIN THE CORE

1 Scope and object

This International Standard applies to the monitoring of adequate cooling within the core of a BWR reactor.

Adequate cooling of the reactor core can be achieved only by maintaining sufficient coolant inventory in the core to remove the heat.

It should be noted that this standard does not refer to the pressure tube type of boiling water reactor. In existing boiling water reactors, the same instrumentation is used to monitor core cooling both during normal operation and under accident conditions.

It is important that plant operators and safety systems have reliable information concerning the amount of coolant in the reactor pressure vessel (RPV).

This information is usually related to the core and expressed specifically as water or water/steam mixture level above or below the top of active fuel of the fuel bundles. In some cases, the presence of the water/steam mixture can be detected also with temperature sensing devices cooled by the coolant stream.

Good international practices to be used when designing new or upgrading existing BWR core cooling monitors are summarized here.

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

The core cooling monitoring system has to function under widely different conditions. The circumstances under which these measuring systems need to work are described here. Descriptions of diverse measuring principles and suitable devices are given together with requirements for the following:

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

Typical applications in operating power plants with different BWR types are also presented in this standard.

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. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et 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. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales actuellement en vigueur.

CEI 50 (393): 1995, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 393: Instrumentation nucléaire – Phénomènes physiques et notions fondamentales*

CEI 737: 1982, *Mesures de température en cœur ou dans l'enveloppe primaire des réacteurs nucléaires de puissance – Caractéristiques et méthodes d'essais*

CEI 770: 1984, *Méthodes d'évaluation des caractéristiques de fonctionnement des transmetteurs utilisés dans les systèmes de conduite des processus industriels*

CEI 770-2: 1989, *Transmetteurs utilisés dans les systèmes de conduite des processus industriels – Deuxième partie: Guide pour l'inspection et les essais individuels de série*

CEI 780: 1984, *Qualification des constituants électriques du système de sûreté des centrales électronucléaires*

CEI 880: 1986, *Logiciel pour les calculateurs utilisés dans les systèmes de sûreté des centrales nucléaires*

CEI 911: 1987, *Mesures pour surveiller la bonne réfrigération du cœur des réacteurs à eau légère pressurisée*

CEI 964: 1989, *Conception des salles de commande des centrales nucléaires de puissance*

CEI 980: 1989, *Pratiques recommandées pour la qualification sismique du matériel électrique du système de sûreté dans les centrales électronucléaires*

CEI 987: 1989, *Calculateurs programmés importants pour la sûreté des centrales nucléaires*

CEI 1225: 1993, *Centrales nucléaires – Systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande pour la sûreté – Prescriptions pour les alimentations électriques*

CEI 1226: 1993, *Centrales nucléaires – Systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande importants pour la sûreté – Classification*

CEI 1227: 1993, *Centrales nucléaires de puissance – Salles de commande – Commandes opérateurs*

AIEA Guide de sûreté 50-SG-D3: 1980, *Système de protection et dispositifs associés dans les centrales nucléaires*

AIEA Guide de sûreté 50-SG-D8: 1984, *Systèmes d'instrumentation et de commande liés à la sûreté dans les centrales nucléaires*

AIEA Guide de sûreté 50-SG-D11: 1986, *Principes généraux de sûreté dans la conception des centrales nucléaires*

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and 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. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 50 (393): 1995, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 393: Nuclear Instrumentation – Physical phenomena and basic concepts*

IEC 737: 1982, *In-core temperature or primary envelope temperature measurements in nuclear power reactors – Characteristics and test methods*

IEC 770: 1984, *Methods of evaluating the performance of transmitters for use in industrial-process control systems*

IEC 770-2: 1989, *Transmitters for use in industrial-process control systems – Part 2: Guidance for inspection and routine testing*

IEC 780: 1984, *Qualification of electrical items of the safety system for nuclear power generating stations*

IEC 880: 1986, *Software for computers in the safety systems of nuclear power stations*

IEC 911: 1987, *Measurements for monitoring adequate cooling within the core of pressurized light water reactors*

IEC 964: 1989, *Design for control rooms of nuclear power plants*

IEC 980: 1989, *Recommended practices for seismic qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear generating stations*

IEC 987: 1989, *Programmed digital computers important to safety for nuclear power stations*

IEC 1225: 1993, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important for safety – Requirements for electrical supplies*

IEC 1226: 1993, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important for safety – Classification*

IEC 1227: 1993, *Nuclear power plants – Control rooms – Operator controls*

IAEA Safety Guide 50-SG-D3: 1980, *Protection system and related features in nuclear power plant*

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

IAEA Safety Guide 50-SG-D11: 1986, *General design safety principles for nuclear power plants*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent. Pour les termes définis ailleurs, les sources sont données entre crochets.

- 3.1 **réacteur à eau bouillante (BWR):** Système nucléaire de production de vapeur dans lequel la vapeur utilisée est produite dans l'enceinte du réacteur.
- 3.2 **réfrigérant:** Eau et/ou vapeur pour l'extraction de la chaleur du cœur.
- 3.3 **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. [AIEA 50-SG-D8]
- 3.4 **surveillance:** Moyens prévus pour indiquer en permanence l'état ou les conditions dans lesquelles se trouve un système, un sous-système, un équipement ou un ensemble. [VEI 393-08-48]
- 3.5 **modérateur:** Substance utilisée pour réduire, au moyen de collisions de diffusion et sans capture appréciable, l'énergie cinétique des neutrons. [VEI 393-07-19]
- 3.6 **radiolyse:** Décomposition de l'eau induite par les rayonnements.
- 3.7 **gaz radiolytiques:** Gaz dégagés par la radiolyse.
- 3.8 **enceinte de confinement:** Structure close qui entoure le système de refroidissement du réacteur et certaines parties des systèmes spécifiques associés, y compris les structures de confinement de la pression qui contiennent des composants individuels dans certaines centrales.
- 3.9 **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. [AIEA 50-SG-D8]
- 3.10 **groupe redondant:** Groupe qui double la fonction essentielle d'autres groupes en assurant cette fonction indépendamment de l'état des autres groupes remplissant la même fonction. [VEI 393-08-45]
- 3.11 **critère de défaillance unique:** Critère appliqué à un système tel que celui-ci soit capable de remplir sa propre tâche de sûreté lorsqu'il est soumis à une seule défaillance. [VEI 393-08-29]
- 3.12 **eau sous-refroidie:** Eau à une température inférieure à la température de saturation pour la pression existante.
- 3.13 **vapeur surchauffée:** Vapeur à une température supérieure à la température de saturation pour la pression existante.

3 Definitions

For the purposes of this International Standard, the following definitions apply. For terms defined elsewhere, the source is given in parentheses.

- 3.1 **boiling water reactor (BWR):** A nuclear steam supply system in which process steam is generated in the reactor vessel.
- 3.2 **coolant:** Water and/or steam for heat removal from the core.
- 3.3 **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]
- 3.4 **monitoring:** Means provided to indicate continuously the state or condition of a system, sub-system, equipment or assembly. [IEV 393-08-48]
- 3.5 **moderator:** Material used to reduce, by scattering collisions and without appreciable capture, the kinetic energy of neutrons. [IEV 393-07-19]
- 3.6 **radiolysis:** Radiation induced decomposition of water.
- 3.7 **radiolytic gases:** Gases evolved through radiolysis.
- 3.8 **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.
- 3.9 **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]
- 3.10 **redundancy group:** Group that duplicates the essential function of other groups to the extent that it can perform the required function independently of the state of the other groups of the same function. [IEV 393-08-45]
- 3.11 **single failure criterion:** Criterion applied to a system such that it is capable of performing its safety task in the presence of any single failure. [IEV 393-08-29]
- 3.12 **sub-cooled water:** Water at a temperature lower than the saturation temperature corresponding to the existing pressure.
- 3.13 **superheated steam:** Steam at a temperature higher than the saturation temperature corresponding to the existing pressure.

4 Conditions de fonctionnement

Les conditions de fonctionnement relatives au refroidissement du cœur des réacteurs sont données ci-dessous.

Il existe quatre méthodes de recirculation du fluide de réfrigération par le cœur du réacteur:

- a) pompes internes;
- b) pompes d'injection;
- c) pompes externes;
- d) circulation naturelle.

Les principes sont donnés dans les figures 1a à 1d. La présente norme couvre ces quatre méthodes.

Le refroidissement adéquat du cœur peut être indiqué par une mesure appropriée sur l'eau (systèmes de surveillance du niveau d'eau ou autres) dans le réacteur et la connaissance que l'eau circule normalement.

4.1 *Fonctionnement normal*

Le besoin de refroidir le cœur existe pour toutes les conditions de fonctionnement, comprenant le fonctionnement à puissance normale, les transitoires, le fonctionnement anormal et les arrêts pour la maintenance et le rechargement.

4.1.1 *Fonctionnement normal en puissance*

Pendant tous les fonctionnements normaux en puissance, l'équilibre entre la génération thermique au niveau du cœur et le transfert thermique vers le fluide de refroidissement est réalisé en contrôlant un certain nombre de paramètres. L'eau sous-refroidie de la colonne descendante est chauffée dans le cœur jusqu'à ébullition saturée et quitte le cœur sous forme de mélange eau-vapeur. La vapeur est séparée de l'eau au moyen du séparateur de vapeur et du sécheur au-dessus du cœur, avant de quitter la cuve du réacteur. L'eau séparée est recirculée dans la colonne descendante et mélangée avec l'eau alimentaire sous-refroidie. Les niveaux d'eau de la colonne sont maintenus dans des conditions normales de fonctionnement par le système de commande du niveau d'eau. Le niveau d'eau de la colonne descendante est également surveillé par le système de protection du réacteur (RPS) (figures 3a, 3b et 3c).

4.1.2 *Transitoires de fonctionnement*

Il existe des transitoires de centrales durant lesquels le niveau demeure inchangé ou varie de façon prévue. Ces transitoires sont par exemple, la mise en marche, la mise à l'arrêt et la charge programmée après fonctionnement.

Il existe des transitoires de fonctionnement pendant lesquels le niveau varie de façon involontaire. Ce type de transitoires peut être provoqué, par exemple, par un déclenchement de la turbine, par un défaut conduisant au déclenchement d'une ou de plusieurs pompes de circulation ou d'eau alimentaire ou par une panne dans un système de commande, entraînant des modifications de puissance non concertées.

4.2 *Fonctionnement anormal*

4.2.1 *État à l'intérieur de la cuve du réacteur*

La réfrigération correcte du réacteur est une préoccupation majeure pour la sûreté du réacteur. Par exemple, un incident tel qu'une rupture de canalisation provoquant un échappement d'eau et/ou de vapeur du réacteur (accident de perte de réfrigérant primaire, LOCA) constitue donc une préoccupation primaire de sûreté. La succession des événements qui se produisent à la suite d'une rupture de canalisation dans le système primaire peut être divisée en une phase de dépressurisation et une phase de réfrigération. A partir de la rupture de la canalisation, l'eau du système primaire est expulsée en permanence sous forme de vapeur et d'eau, avec un débit déterminé par l'état du fluide, la taille de la rupture et la pression interne dans la cuve du réacteur.

4 Operational conditions

The operational conditions relating to reactor core cooling are given below.

There are four methods of recirculating the coolant through the reactor core:

- a) internal pumps;
- b) jet pumps;
- c) external pumps;
- d) natural circulation.

The principles are shown in figures 1a to 1d. This standard covers all four methods.

Adequate core cooling can be indicated by measuring that sufficient water (water-level or other monitors) is in the reactor and the knowledge that it is being appropriately circulated.

4.1 Normal operation

The need for adequate core cooling exists for all operating conditions, including normal power operation, operational transients, abnormal operation and outages for maintenance and refuelling.

4.1.1 Normal power operation

During all normal power operations, a balance between heat generation in the core and heat transfer to the circulating coolant is achieved through the control of a number of parameters. The sub-cooled water from the downcomer is heated in the core to saturation conditions and leaves the core as a steam-water mixture. The steam is separated from the water by the steam separator and dryer above the core before leaving the reactor pressure vessel (RPV). The separated water is recirculated to the downcomer and mixed with the sub-cooled feedwater. The water-level in the downcomer is maintained at normal operating conditions by the water-level control system. The downcomer water-level is also monitored by the reactor protection system (RPS) (figures 3a, 3b and 3c).

4.1.2 Operational transients

There are plant transients during which the level remains unaltered or will vary in an anticipated manner. Such transients are e.g. startup, shutdown, and scheduled load following operations.

There are operational transients during which the level changes unintentionally. Such transients can be caused e.g. by a turbine trip, by a malfunction leading to the tripping of one or more main circulation pumps or feedwater pumps or by a failure in a control system causing unplanned power changes.

4.2 Abnormal operation

4.2.1 Conditions within the reactor pressure vessel (RPV)

Adequate reactor cooling is a major consideration for reactor safety. Thus, an incident such as a pipe break which leads to outflow of water and/or steam from the reactor (a loss of coolant accident, LOCA) is a primary safety concern. The course of events after a pipe break in the primary system can be divided into a blowdown stage and a cooling stage. Beginning from the time of the pipe break, the water from the primary system is continuously expelled as steam and water at a rate determined by the fluid conditions, the break size and the internal pressure in the reactor pressure vessel.

Pendant ce stade de dépressurisation, des pressions différentielles se créent dans les parties internes du système primaire. Cette phase s'achève lorsque la pression du bâtiment environnant est la même que celle du système primaire ou quand la rupture est isolée. Il est nécessaire de prévoir des systèmes de production d'eau dans le système primaire (systèmes de réfrigération du cœur, ECCS), pour éviter la surchauffe du cœur du réacteur.

Ces systèmes sont activés peu après la rupture et, après la fin de la phase de dépressurisation, ils peuvent commencer à remplir le système primaire, permettant ainsi une bonne aptitude au refroidissement. Pendant la phase de réfrigération, la température du réacteur et celle du système primaire décroissent graduellement.

Après la phase de dépressurisation rapide pendant un LOCA, le restant de l'eau dans la cuve du réacteur peut, selon le type de LOCA, suffire à couvrir complètement ou partiellement le cœur, ou bien le laisser complètement à découvert. Dans tous les cas, l'ECCS est responsable de la bonne réfrigération du cœur.

La réfrigération du cœur peut être effectuée au moyen d'un circuit d'aspersion ou par injection d'eau dans la colonne descendante. Dans ce dernier cas, la tête de densité de l'eau dans la colonne descendante doit être plus élevée que la tête de densité du mélange eau/vapeur dans le cœur afin de forcer l'eau de la chambre d'expansion la plus basse à s'écouler dans le cœur. Dans ces conditions, l'évaporation se produit dans la zone du cœur et le flux positif d'un mélange eau-vapeur dans le cœur peut y maintenir la réfrigération pendant une longue période. La circulation naturelle dans la cuve du réacteur peut être maintenue par injection constante d'eau dans la colonne descendante, de façon à obtenir un niveau d'eau suffisamment élevé et à compenser les processus d'évaporation dans le cœur. Il est important, de ce fait, d'assurer une surveillance constante du niveau de l'eau dans la colonne descendante.

4.2.2 Conditions dans l'enceinte du réacteur

Les BWR utilisent plusieurs types d'enceintes. Ils comprennent tous un principe de suppression de pression où la vapeur s'écoulant de l'enceinte pendant un LOCA est forcée dans un puits humide et s'y condense. Le volume de ce type d'enceinte est inférieur à celui des enceintes constituées seulement d'un puits sec.

La pression dans l'enceinte du réacteur augmente pendant un LOCA. La pression de calcul de l'enceinte varie normalement entre 0,1 MPa et 0,7 MPa, suivant le volume libre de l'enceinte et l'accident de référence (ADR). Le transitoire de température correspondant peut initialement s'élever à 170 °C et, après quelques heures, descendre en dessous de 100 °C. Dans certains types d'enceinte, on obtient une condensation de vapeur pendant un LOCA en utilisant un circuit d'aspersion du cuvelage métallique et/ou de l'enceinte du réacteur. Les systèmes de mesure du niveau d'accident doivent être conçus de façon à satisfaire aux conditions d'environnement les plus défavorables pendant un ADR.

5 Méthodes de mesure

Pour garantir une bonne réfrigération du cœur dans les réacteurs à eau légère (LWR), le pressuriseur doit en permanence contenir une quantité d'eau suffisante. La surveillance en continu du niveau du mélange eau/vapeur dans la zone du cœur ou dans la colonne descendante est un indicateur de la quantité de réfrigérant disponible. Une autre méthode consiste à mesurer l'aptitude à la réfrigération du cœur en divers emplacements dans la zone du cœur. Comme indication de l'aptitude à la réfrigération dans le cœur, il existe actuellement de nombreux types de dispositifs de mesure pour la surveillance du niveau de l'eau dans l'enceinte de pression ou de la présence d'eau ou d'un mélange eau/vapeur dans le cœur.

Le premier groupe surveille le niveau d'eau dans la colonne descendante de la cuve de pression du réacteur, soit au moyen d'une instrumentation différentielle, méthode utilisée dans tous les BWR en fonctionnement, soit d'un mécanisme à flotteur, l'interrupteur à niveau utilisé dans certains anciens BWR, qui fournissent seulement une information binaire. Une autre méthode développée et essayée dans les BWR consiste en un dispositif de contrôle du niveau d'eau par ultrasons.

During this blowdown stage differential pressures are created across internal parts in the primary system. The blowdown stage comes to an end when the pressure in the containment is the same as in the primary system or when the break is isolated. To prevent the reactor core from being overheated, systems to provide water to the primary systems are necessary (emergency core cooling systems, ECCS).

These systems are activated shortly after the break, and after the end of the blowdown stage they can begin to refill the primary system, thereby enabling an adequate cooling capability. During the cooling stage the temperature of the reactor and primary system will gradually decrease.

After the fast depressurization phase during a LOCA, the remainder of the water left in the RPV, (dependent on the type of LOCA) may be enough to completely or partially cover the core or leave the core completely uncovered. In any case the ECCS is responsible for adequate core cooling.

The cooling of the core can be accomplished with a core spray system or with water injection into the downcomer. In case of water injection into the downcomer, the density head of the water in the downcomer shall be higher than the density head of the steam/water mixture in the core to force the water in the lower plenum to flow into the core. Under these conditions, evaporation processes in the core region and the positive core flow of a two-phase mixture can maintain the core cooling for a long period of time. Natural circulation inside the RPV can be maintained through continuous water injection in the downcomer to keep the water-level high enough and compensate for evaporation processes in the core. Therefore continuous monitoring of the water-level in the downcomer is important.

4.2.2 *Conditions within the containment*

BWRs employ several different types of containment. They all incorporate the pressure suppression principle where the steam flowing out of the pressure vessel during LOCA is forced into and condensed in a wet well. The volume of these types of containments is smaller than containments consisting only of a dry well.

The pressure in the containment increases during a LOCA. The design pressure of the containment normally varies in the range of 0,1 MPa and 0,7 MPa depending on the free containment volume and the design basis accident (DBA). The corresponding temperature transient can initially rise to 170 °C and after a few hours decrease below 100 °C. In some types of containment, condensation of steam during LOCA is accomplished by the use of a steel liner and/or a containment spray system. The accident level measurement systems shall be designed to meet the maximum adverse environmental conditions during a DBA.

5 Measurement methods

To assure adequate core cooling in light water reactors (LWR), sufficient water shall be continuously available in the pressure vessel. Continuous monitoring of the water/steam inventory in the core region or the water-level in the downcomer is an indicator of the amount of coolant available. Another method is the direct measurement of the core cooling capability at different locations in the core region. As an indication for cooling capability in the core, many types of measuring device are now available for monitoring water-level in the pressure vessel, or the presence of water or steam/water mixture in the core.

The first group monitors the water-level in the downcomer of the reactor pressure vessel (RPV) either by differential pressure instruments, a method which is currently in use in all operating BWRs, or by means of float actuated mechanism (level switch), used in some early BWR designs, which only provides binary information. Another method developed and tested under BWR conditions is the ultrasonic water-level monitoring device.

Le deuxième groupe couvre les moniteurs d'aptitude à la réfrigération utilisant des capteurs thermiques, tels les thermocouples, les thermocouples chauffants différentiels et les thermomètres chauffants à résistance. Certains d'entre eux sont des dispositifs binaires fixes qui peuvent surveiller si les capteurs chauffés sont refroidis par le liquide, par un mélange de deux phases eau/vapeur ou par la vapeur et sont utilisés dans les BWR et les PWR (voir CEI 911).

Ces dispositifs de mesure doivent être assignés aux catégories de sûreté spécifiées dans la CEI 1226. Des signaux fournissent des informations à l'opérateur et peuvent être exigés pour:

- la catégorie A (par exemple le RPS);
- la catégorie B (les systèmes de limitation, de surveillance d'accidents, etc.);
- la catégorie C (par exemple les systèmes opérationnels).

Suivant la catégorie de sûreté, les prescriptions de calcul, comme la redondance, la diversité, la séparation, l'alimentation électrique et les prescriptions spécifiques concernant la qualification, l'assurance de la qualité, la surveillance, la maintenance et la documentation doivent être définies en conformité avec les normes CEI.

5.1 Dispositifs de mesure du niveau d'eau

La disponibilité d'eau dans le cœur est essentielle à sa bonne réfrigération dans les réacteurs à eau légère. La mesure du niveau d'eau dans la cuve est de ce fait une indication importante de la situation de la réfrigération dans le cœur. Il existe trois méthodes, décrites ci-dessous, qui font l'objet d'essais pour leur utilisation dans les BWR.

De nombreuses méthodes sont utilisées industriellement ou sont en cours d'élaboration.

5.1.1 Mesure de la pression différentielle

La mesure du niveau d'eau dans les cuves des BWR est fondée sur la détection de la différence entre la hauteur statique de l'eau dans la cuve du réacteur et une colonne d'eau extérieure à l'enceinte, soumises toute deux à une même pression totale du circuit. La colonne de référence est, dans l'idéal, maintenue constante en hauteur et en densité. Une force proportionnelle à la différence des hauteurs statiques est exercée sur un transducteur électromécanique:

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

où

- Δp est la pression différentielle dans le capteur;
- d_0 est la densité du fluide de la colonne de référence (eau) à la température dominante de la colonne de référence;
- h est la hauteur de l'intervalle de mesure (colonne de référence);
- d_f est la densité de l'eau dans la colonne descendante de la cuve du réacteur;
- h_f est la hauteur réelle de l'eau dans la colonne descendante de la cuve du réacteur (niveau d'eau affaissé en présence de vides);
- d_g est la densité de la vapeur dans la colonne descendante de la cuve du réacteur;
- g est l'accélération de la pesanteur

comme le montre la figure 2.

NOTE - Cette formule prend seulement en compte la hauteur statique et ne tient pas compte des effets dynamiques.

La conception de la colonne de référence et son état dans toutes les situations de la centrale constitue le facteur principal pour la détermination de la précision et de la fiabilité du système de mesure du niveau. Dans l'idéal, il convient que la colonne conserve une température et une hauteur constantes et soit de densité uniforme.

Pendant les transitoires de dépressurisation, des gaz non condensables dans la colonne de référence d'une mesure de la pression différentielle peuvent être libérés et provoquer de grandes indications transitoires et des indications élevées erronées après les transitoires. Il convient que les fonctions automatiques importantes pour le traitement des transitoires de pression de pertes de réfrigérant ne dépendent pas exclusivement des signaux de niveau d'eau.

The second group covers cooling capability monitors using temperature sensing devices such as thermocouples, heated differential thermocouples and heated resistance thermometers. Some of them are fixed binary devices, which can monitor whether heated sensors are cooled by liquid, two-phase mixture or vapour and are used in BWRs and PWRs (see IEC 911).

These measurement devices shall be assigned to safety categories specified in IEC 1226. Signals provide information to the operator and may be required for:

- category A (e.g. RPS);
- category B (e.g. limitation systems, accident monitoring systems, etc.);
- category C (e.g. operational systems).

Depending on the safety category, design requirements for such as redundancy, diversity, separation, power supply as well as specific requirements concerning qualification, quality assurance, surveillance, maintenance and documentation shall be defined in accordance with IEC standards.

5.1 *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 pressure vessel is therefore an important indication of the cooling situation in the core. There are three methods, described below, which are tested for use in BWRs.

Many methods are in industrial use or are under development.

5.1.1 *Differential pressure measurement*

The measurement of water-level in a BWR 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. The reference column is, ideally, maintained constant in height and density. A force proportional to the difference in the static heads is exerted on an electromechanical transducer:

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

where

Δp is the differential pressure across the transmitter;
 d_o is the density of reference leg fluid (water) at the prevailing temperature of the reference leg;

h is the height of measurement span (reference leg);

d_f is the density of water in RPV downcomer;

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

d_g is the density of steam in RPV downcomer;

g is the gravity acceleration.

as shown in figure 2.

NOTE – The formula will only take into account the static head and will not account for the dynamic effects.

The design of the reference column and its condition under all plant situations is the main factor in determining the accuracy and reliability of the level measurement system. Ideally, the column should remain constant in temperature, height and of uniform density.

During depressurization transients, non-condensable gases in the reference leg of a differential pressure measurement can be released and cause large transient indications and erroneous high indications after the transients. Important automatic functions for the handling of loss of coolant pressure transients should not rely only on water-level signals.

Pour obtenir une pression différentielle dans les mesures de niveau, il existe trois configurations essentielles: la configuration de colonne froide (figure 3a), la configuration de colonne variable externe vers la cuve avec colonne de référence adjacente (figure 3b) et la configuration à tube d'équilibrage (figure 3c).

5.1.2 Interrupteurs à flotteurs

Les interrupteurs à flotteurs fonctionnent par le mouvement physique d'un flotteur transmis indirectement à un interrupteur électrique par couplage magnétique. Ces flotteurs sont généralement montés dans une chambre flottante externe. Dans le passé, les interrupteurs à flotteurs étaient utilisés pour déclencher un signal correspondant à un niveau spécifique.

5.1.3 Surveillance du niveau d'eau par ultrasons

Le détecteur à ultrasons est maintenu fermement fixé à la cuve par un aimant permanent. Il n'est normalement pas nécessaire d'utiliser de couplage. En superposant un champ magnétique statique à un champ électromagnétique à haute fréquence, des ondes transversales à ultrasons sont générées dans l'enceinte, selon les mécanismes de Lorentz, de poussée et de magnétostriction. Les ultrasons sont partiellement réfléchis par la paroi intérieure de l'enceinte et partiellement séparés dans le fluide. Après d'autres réflexions, les ondes sonores sont captées par un récepteur.

L'atténuation de l'amplitude des signaux est obtenue à partir de l'information « liquide détecté », et une augmentation d'amplitude produit l'information « gaz détecté ». Voir référence [1]¹ pour de plus amples renseignements sur cette méthode.

5.2 Capteurs de température

Des dispositifs de mesure de la température en différents endroits du cœur fournissent une indication directe de la bonne réfrigération. Un certain nombre de méthodes ont été proposées et sont en cours d'élaboration ou en service dans les PWR, dans les BWR ou dans ces deux types de réacteurs. Quatre dispositifs basés sur la mesure de température sont décrits ci-après.

5.2.1 Mesures par capteur chauffé

Le principe de mesure est basé sur le fait que le transfert de chaleur s'effectue de façon bien plus satisfaisante dans l'eau que dans la vapeur stagnante. Un élément chauffé à puissance constante atteint ainsi dans l'eau un échauffement bien plus faible que lorsqu'il est entouré de vapeur. Le fil d'un thermomètre à résistance incorporé à l'élément chauffé réagit à la température de celui-ci. Si cet élément est immergé dans l'eau ou dans un mélange eau/vapeur, l'échauffement est moins élevé que lorsqu'il est entouré de vapeur; le capteur comprend également un fil non chauffé qui sert de référence. De plus amples renseignements sur la méthode, la configuration, les essais et l'utilisation dans certaines filières à eau pressurisée sont donnés à la référence [2]. Cette méthode est également citée dans la CEI 911.

5.2.2 Réfrigération du cœur et moniteur de température

Le moniteur, placé dans un tube guide de type gamme de puissance locale (LPRM), est constitué par une batterie de chauffage de faible résistance à coefficient de température. Le détecteur est placé dans un cylindre d'Inconel, d'un diamètre extérieur comparable à celui d'un crayon combustible. Un courant de quelques ampères est injecté dans la résistance. Quand le détecteur est immergé dans l'eau ou dans un mélange eau/vapeur, la réfrigération est bonne et la température du détecteur ne diffère que de très peu de celle de l'eau. Si le détecteur n'est pas immergé et réfrigéré par la vapeur, la température du fil augmente de quelques centaines de degrés, ce qui constitue une indication facile de perte de réfrigérant. Comme mode de fonctionnement secondaire, le détecteur peut être utilisé pour mesurer la température utilisant un courant faible comme noté à la figure 4. Le détecteur peut être ensuite utilisé pour mesurer la température du cœur lors d'accidents graves. Des indications supplémentaires sur le détecteur, ainsi que des études sur la chaîne de régulation et le réacteur nucléaire sont données aux références [3] et [5].

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie donnée dans l'annexe C.

There are three basic configurations for obtaining a differential pressure for level measurements: cold leg configuration (figure 3a), external-to-vessel variable leg configuration with a reference leg adjacent (figure 3b) and stand pipe configuration (figure 3c).

5.1.2 *Float switches*

Float switches are usually mounted in an external float chamber and operate by the physical movement of a float being transmitted indirectly by a magnetic coupling to an electrical switch. In the past, float switches were used to actuate a signal at a specific level.

5.1.3 *Ultrasonic liquid level monitoring*

The ultrasonic sensor is kept firmly attached to the vessel using a permanent magnet. A coupling medium is normally not needed. By superimposing a static magnetic field with an electromagnetic high-frequency field, transverse ultrasonic waves are generated in the vessel as a result of the mechanisms of Lorentz-force, magnetic force and magnetic striction. The ultrasonic waves are partly reflected on the inside wall of the vessel and partly decoupled into the fluid. After further reflections, the sound waves are picked up by a receiver.

The attenuation of signal amplitude is evaluated from the information "liquid detected", and more amplitude gives the information "gas detected". For more details about the method, see reference [1]¹.

5.2 *Temperature sensing devices*

Monitoring devices operated by temperature measurement in different core locations provide a direct indication of adequate core cooling. A number of methods have been suggested which are under development or are in use in PWRs, BWRs or in both reactor types. Four different temperature based sensing devices are described below.

5.2.1 *Heated sensor measurement*

The measurement principle is based on the fact that heat transfer in water is considerably better than that in stagnant steam. A heating element heated at a constant power will therefore reach a substantially lower excess temperature in water than when surrounded by steam. A resistance thermometer wire incorporated in the heating element reacts to the temperature of this element. If that element is immersed into surrounding water or two-phase mixture the excess temperature is lower than when it is surrounded by steam. The sensor also contains an unheated resistance thermometer wire which provides a reference. More details about the method, configuration, tests and use in some PWRs are given in reference [2]. This method is also referred to in IEC 911.

5.2.2 *Core cooling and temperature monitor*

The monitor, placed in a guide tube of local power range (LPRM) type, consists of an electrical heating coil of a low-ohmic resistor with a temperature coefficient. The detector is placed inside an Inconel cylinder with an outer diameter comparable with that of a fuel rod. A current of several amperes is fed to the resistor. When the detector is submerged into surrounding water or two-phase mixture, the cooling is adequate and the temperature of the detector will differ only slightly from the water temperature. If the detector is uncovered and cooled by steam, the temperature of the wire will increase several hundred degrees which is an easy indication of a loss of coolant. As a secondary mode of operation the detector can be used to measure temperature using a low current as noted in figure 4. The detector can then be used to measure core temperature during severe accidents. Further details of the detector, loop studies and nuclear reactor studies are given in references [3] and [5].

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography given in annex C.

5.2.3 Thermocouples à codage binaire avec élément chauffé

Le détecteur est placé dans un tube guide de type LPRM. Le principe de mesure est basé sur la différence de coefficient de transfert de chaleur de la surface du capteur vers la vapeur ou l'eau. Du fait que le capteur est chauffé de l'intérieur par une boucle de fil chauffant, une différence de température significative est détectée par un thermocouple parallèle (TC) à jonctions TC connectées de chaque côté du niveau d'eau. Lorsque les deux raccordements sont au contraire largement au-dessus ou au-dessous du niveau d'eau, le signal « zéro » apparaît. L'interprétation tout ou rien de ces deux situations se traduit par « 1 » ou « 0 », selon la position relative du niveau d'eau. Cette méthode, ainsi que l'expérience dans une centrale nucléaire de puissance sont développées plus précisément à la référence [4].

5.2.4 Thermocouples conventionnels

Dans certaines centrales BWR, on peut également utiliser des mesures directes de température en plusieurs endroits du cœur comme autre méthode de mesure du niveau d'eau, pour la surveillance de la réfrigération correcte du cœur et les informations sur la mesure de la température utilisées particulièrement pour les procédures de gestion des accidents. Deux conceptions se sont avérées appropriées:

- un thermocouple au sommet de chaque LPRM;
- différents thermocouples à des positions axiales différentes, au lieu d'un LPRM à certaines positions radiales dans le cœur.

6 Prescriptions de l'instrumentation

La conception de l'instrumentation pour la surveillance de la réfrigération du cœur à long terme doit tenir compte des facteurs suivants.

- La précision et le temps de réponse indiqués doivent satisfaire aux prescriptions dictées par l'exploitation normale, les transitoires opérationnels normaux et les procédures d'urgence qui dépendent des indications de fonctionnement satisfaisant, de la commande et du rétablissement après accident.
- Le système d'instrumentation, y compris les alimentations, doit être conçu pour fonctionner avec la fiabilité requise et satisfaire aux prescriptions prévues à l'origine, lorsqu'il est soumis aux conditions d'environnement normales, sismiques et accidentelles pour lesquelles il est prévu, en adoptant le principe de séparation et de redondance ou de diversité, si nécessaire.
- L'instrumentation et ses alimentations doivent avoir la redondance appropriée pour satisfaire au critère de défaillance unique, si applicable. Pour les recommandations sur l'alimentation, voir CEI 1225.

6.1 Mesure de la pression différentielle

Pour l'acquisition, l'installation et la maintenance des transmetteurs, les exigences de la CEI 770 et de la CEI 770-2 doivent être appliquées.

6.1.1 Niveau de référence du pot de condensats

Le volume du pot de condensats doit être suffisant pour garantir que la perte d'eau provenant de petites fuites ne provoque pas d'erreurs inacceptables d'indications. Une attention particulière doit être portée aux phénomènes physiques suivants:

- dégazage des gaz dissous, qui peuvent être de l'air dissous dans l'eau de remplissage ou des gaz radiolytiques dans l'eau de condensat;
- l'ébullition de l'eau dans la colonne de référence pendant et après des LOCA dans l'enceinte du réacteur (voir 6.1.3). Ce phénomène est normalement appelé « détente rapide » ou « autovaporisation ».

5.2.3 *Binary coding thermocouples with heater*

The detector is placed in a guide tube of the LPRM-type. The measuring principle is based on the difference in heat transfer coefficient from the sensor surface to either steam or water. Since the sensor is heated on the inside by a heater wire loop, a clear temperature difference is detected by a parallel thermocouple (TC) loop having differentially connected TC junctions on either side of the water-level. On the contrary, when both junctions are fully above or below the water-level, a zero signal is produced. The digital interpretation of these two situations is the production of either a "1" or a "0", depending on the relative position of the water-level. Further development of this method and experience at a NPP is described in reference [4].

5.2.4 *Conventional thermocouples*

Direct temperature measurements at different core positions may be used in some BWRs as a diverse method for water-level measurements to monitor adequate core cooling, and used especially for temperature measurement information for accident management procedures. Two designs have been shown to be suitable:

- one thermocouple at the top of each LPRM;
- different thermocouples at different axial positions instead of an LPRM at certain radial positions in the core.

6 Instrumentation requirements

The design of instrumentation for monitoring long-term core cooling shall take account of the following factors.

- Indicated accuracy and time response shall meet the requirements dictated by normal operation, normal operational transients and emergency procedures which rely on the indications for successful operation, control and accident recovery.
- 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, seismic and accident environmental conditions under which it is to be used, adopting separation and redundancy or diversity as needed.
- The instrumentation and its power supplies shall have appropriate redundancy to meet the single failure criteria where this applies. For recommendations on power supplies, refer to IEC 1225.

6.1 *Differential pressure measurement*

For the procurement, installation and maintenance of transmitters, the requirements given in IEC 770 and IEC 770-2 shall apply.

6.1.1 *Reference level condensate pot*

The volume of the condensate pot shall be sufficient to ensure that loss of water from small leaks does not give unacceptable errors in the indications. Special attention shall be given to physical phenomena such as:

- degasification of dissolved gases, which could be air dissolved in the fill water or radiolytic gases in the condensate water;
- boiling of the water in the reference leg during and after LOCAs in the reactor containment (see 6.1.3). Normally this phenomenon is called "flashing" or "flash off".

La hauteur de la colonne d'eau est ainsi réduite.

Il faut utiliser une conception du pot de condensation qui évite l'accumulation de gaz non condensables.

Cela peut être obtenu par le raccordement d'un pot de condensation à la cuve du réacteur avec un large et court tuyau à la même hauteur que le piquage de la cuve. Cela peut être aussi obtenu par l'application d'une ventilation du pot de condensation afin d'obtenir la même atmosphère dans la vapeur de la cuve et dans le pot de condensation, par exemple la ventilation de la ligne vapeur en utilisant le tube d'équilibrage ou le principe de la chambre double.

6.1.2 *Installations de la ligne d'instrumentation hydraulique*

- Il convient que la distance verticale effective entre la pointe taraudeuse et les pénétrations dans l'enceinte soit réduite autant que possible, afin de réduire le besoin de réfrigération et de compensation, en conditions de LOCA (voir 6.1.3 et 6.1.6).
- Il convient que toutes les tuyauteries à action rapide soient à auto-drainage et installées avec une pente d'au moins 1 pour 12, sauf si des aménagements spéciaux sont effectués pour la ventilation et le taraudage.
- Lorsque les purges et les événements sont inévitables, il convient de porter une attention spéciale à bien les placer, pour garantir que les événements sont placés aux points les plus élevés et les purges aux points les plus bas du passage des tuyauteries.
- Les tuyauteries à action rapide doivent être d'un diamètre suffisant pour permettre le non-blocage et doivent être au moins de 10 mm de diamètre intérieur. Une attention particulière doit être portée à la protection contre les chocs externes.
- Il convient que les tuyauteries ne soient pas utilisées pour supporter le poids des capteurs de pression, des pots de garde etc.; il convient que ces éléments soient supportés par des tuyauteries en acier, des manchettes et des raccords tuyauteries ou des consoles appropriées.
- Il convient que les supports des tuyauteries soient si possible éloignés de tous supports ou matériels vibrants.
- Les passages des tuyauteries et des tubes doivent être soutenus de façon correcte et fixés à des distances minimales spécifiées, afin de supporter les vibrations et les phénomènes sismiques spécifiques.
- Des tuyaux flexibles sont quelquefois utilisés pour les découplages sismiques. On doit tenir compte du fait que les tuyaux flexibles peuvent amplifier le niveau de bruit et ainsi dégrader la mesure.
- Il convient que l'installation soit réalisée en prenant en considération la dilatation thermique dans les lignes d'instrumentation et leurs supports, pendant les conditions normales et accidentelles.
- Il convient de prendre en compte l'expansion thermique de la cuve du réacteur dans la conception des supports.

6.1.3 *Réfrigération et isolation de la ligne d'instrumentation hydraulique*

En conditions de LOCA de l'enceinte du réacteur, il peut se produire une ébullition de l'eau dans les lignes d'instrumentation lorsque la pression dans la cuve du réacteur est réduite à une valeur inférieure à la pression de saturation correspondante dans l'eau de la ligne d'instrumentation. Il peut en résulter des erreurs de signaux et d'indication.

In this way the height of the water column is decreased.

A condensing pot design that avoids the accumulation of non-condensable gases shall be applied.

This can be achieved by connecting the condensing pot to the RPV with a wide and short piping at the same height as the RPV nozzle. Alternatively this can be achieved by applying venting of the condensing pot in order to get the same atmosphere in the steam of RPV and the condensing pot, e.g. venting to the steam line, using standpipe or dual chamber principles.

6.1.2 *Hydraulic instrument line installations*

- The effective vertical distance between the tapping point and the penetrations in the containment wall should be kept to a minimum. This is to minimize the need for cooling and compensation during LOCA conditions (see 6.1.3 and 6.1.6).
- All impulse piping should 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 tapping.
- Where vents and drains are unavoidable, special attention should be paid to their correct siting to ensure that vents are at the highest points and drains at the lowest points of the piping run.
- Impulse piping shall be of sufficient diameter to ensure blocking does not occur and shall be at least 10 mm inside diameter. Consideration shall be given to protection against external impacts.
- Piping should not be used to carry the weight of pressure gauges, seal pots, etc.; these items should be supported by steel piping, nipples and fittings or suitable brackets.
- Wherever possible, piping supports should be kept free from vibrating structures or equipment.
- Piping and tubing runs shall be adequately supported and fixed at specified minimum distances to withstand vibration and specified seismic events.
- Flexible tubing is sometimes used for seismic decoupling. Consideration shall be given to the fact that flexible tubing can amplify process signal noise and in this way degrade the measurement.
- Installation should be made taking into consideration thermal expansion in the instrument lines and their supports during normal and accident conditions.
- In the design of the supports, the thermal expansion of the RPV should be considered.

6.1.3 *Hydraulic instrument line cooling and insulation*

During LOCA conditions in the reactor containment, boiling of the water in the instrument lines can occur if the pressure in the RPV is reduced to a value below the corresponding saturation pressure in the instrument line water. This can result in signal error and indication errors.

Si l'analyse ne peut pas démontrer qu'une erreur n'affectera pas la sécurité de la centrale, il convient de réfrigérer ou d'isoler la ligne d'instrumentation en question pour éviter une élévation inacceptable de la température de l'eau dans la ligne d'instrumentation. La réfrigération des lignes est une méthode mieux adaptée pour réduire les effets de la chauffe à long terme. Une méthode acceptable de réfrigération est d'utiliser l'eau du circuit d'aspersion de l'enceinte. Le système de refroidissement ne doit pas être classé à un niveau inférieur à celui du système d'instrumentation permettant de remplir la colonne de refroidissement de référence.

L'isolement des lignes d'instrumentation est généralement seulement appropriée à la protection contre les échauffements rapides.

6.1.4 *Reconstitution de la colonne de référence après accident*

Si l'on peut prouver pour la sécurité de la centrale pendant la dépressurisation qu'une ébullition temporaire dans les lignes d'instrumentation est acceptable, il n'est pas nécessaire de recourir à la réfrigération ou à l'isolation, comme prescrit en 6.1.3. Le dégazage ou l'ébullition peuvent cependant se traduire par une perte d'eau dans les lignes d'instrumentation susceptible de provoquer des erreurs d'indication prolongées inacceptables.

Dans ces cas là, il est recommandé qu'il soit possible de reconstituer le niveau d'eau dans la colonne de référence par remplissage à partir d'un système installé relié au système d'instrumentation. Le déclenchement du remplissage peut être manuel ou automatique et doit être réalisé en un temps acceptable reconnu pour la sécurité de la centrale. Le système de remplissage ne doit pas être classé à un niveau inférieur à celui du système d'instrumentation de la colonne de référence de remplissage.

La qualité de l'eau et la pression d'alimentation du système de remplissage doivent satisfaire aux conditions techniques générales de la centrale.

6.1.5 *Type et qualité du fluide dans les lignes d'instrumentation*

Il convient que le fluide circulant dans les lignes d'instrumentation soit de l'eau de la qualité de l'eau du réacteur.

Pour éviter des erreurs d'indications dues au dégazage de l'eau dans les lignes d'instrumentation pendant la dépressurisation de la cuve du réacteur, il convient de prendre en considération ce qui suit.

Il convient de réduire, dans la mesure du possible, les gaz hydrauliques dissous dans la colonne de référence plutôt que de la laisser se remplir de vapeur condensée du réacteur, en utilisant de l'eau de remplissage dégazée.

On n'utilise pas de lignes d'impulsion scellées contenant d'autres types de fluides pour la transmission de pression du réacteur vers le capteur différentiel, pour éviter tout risque de pollution de l'eau du réacteur par des fluides de ce type d'équipement.

6.1.6 *Compensation des variations de densité dans le réfrigérant du réacteur et dans les lignes d'instrumentation*

Les variations de densité de l'eau dues aux changements de température, à la fois dans le réfrigérant du réacteur et dans l'eau de la ligne d'instrumentation, peuvent amener des erreurs d'indications inacceptables dans les signaux. A moins de faire la preuve, par analyse, que ceci n'est pas nécessaire, le signal de niveau doit être compensé dans les conditions de variations de température normales et accidentelles.

Pendant le fonctionnement normal, il convient que la lecture soit correcte et compensée automatiquement pour les variations de densité du réfrigérant de la colonne descendante entre l'arrêt froid et la température correspondant à la pression de calcul de la cuve du réacteur. Il convient d'utiliser la pression de la cuve du réacteur comme entrée du compensateur.

If analysis cannot demonstrate that an error will not affect plant safety, the instrument line in question should be cooled or insulated to avoid an unacceptable increase in the instrument line water temperature. Cooling of the lines is a preferred method for reducing the effects of long-term heat-up. One acceptable cooling medium would use water from the containment spray system. The cooling system shall be classified to a level not lower than the instrument system requiring reference leg cooling.

Insulation of the instrument lines is generally only appropriate for protection against short-term heat-up.

6.1.4 *Post accident reference leg restoration*

If it can be demonstrated to be acceptable for the safety of the plant during depressurization, that boiling in the instrument lines occurs only temporarily, cooling or insulation as required in 6.1.3 is not necessary. Nevertheless, degasification or boiling can result in loss of water in the instrument lines that can lead to an unacceptable continuous indication error.

In these cases, it should be possible to restore the water-level in the reference leg via refill from an installed system that connects to the instrument system. The initiation of the refill may be by manual or automatic means and shall be completed within a period of time demonstrated to be acceptable for the safety of the plant. The refill system shall be classified to a level not lower than the instrument system requiring possibility to refill the reference leg.

The water quality and the feeding pressure of the refill system shall meet the general technical specifications of the plant.

6.1.5 *Type and quality of the fluid in the instrument lines*

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

To avoid indication errors due to degasification of water in the instrument lines during depressurization of the RPV, the following should be taken into account.

Dissolved hydrolytic gases in the reference leg should be minimized to the extent possible by the use of degasified fill water rather than letting it be filled by condensed reactor steam.

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

6.1.6 *Compensation of density variations in the reactor coolant and in the instrument lines*

Variations in the water density due to temperature changes in both the reactor coolant and the instrument line water could lead to unacceptable indication errors in the signal. Unless demonstrated by analysis to be unnecessary, the level signal shall be compensated for both normal and accident temperature variations.

During normal operation, the reading should be corrected for variations in the downcomer coolant density from cold shut-down up to the temperature that corresponds to the design pressure of the RPV. RPV pressure should be used as compensator input.

Pendant les LOCA dans la cuve, l'eau des lignes d'instrumentation sera chauffée par la vapeur relâchée si elle n'est pas refroidie ou isolée correctement. A des températures supérieures aux températures de calcul, cela provoquera des erreurs d'indications dans le signal de niveau, qui doit être corrigé, si la distance verticale effective de la ligne d'instrumentation chauffée dépasse une certaine valeur.

Il convient que les capteurs de température placés à l'extérieur des lignes d'instrumentation soient montés comme entrées de compensateur. S'il est prévu des gradients de température le long de la ligne d'instrumentation, il faut prévoir un nombre approprié de capteurs par ligne d'instrumentation. Le système de compensation doit couvrir les variations allant jusqu'à la température de saturation, correspondant à la pression de calcul de la cuve.

6.2 Interrupteurs à flotteurs

Il convient que les connexions à la cuve soient réalisées au moyen de canalisations d'un diamètre suffisant pour éviter toute obstruction par des dépôts. Il convient que les connexions à la cuve soient choisies de façon qu'il y ait une faible pression dynamique différentielle entre les deux connexions, évitant un flux d'eau par la colonne d'eau de communication, qui pourrait affecter l'interrupteur à flotteur.

Le matériel doit être séparé selon les prescriptions du système. On peut installer une ou plusieurs colonnes d'eau par chaîne de mesure. Le matériel pour chaque voie redondante doit être réparti autour de la cuve du réacteur.

Il convient que chaque chambre à flotteur soit équipée de tubes d'essai permettant de tester la fonction d'interruption au moyen de dégagements de gaz dans la chambre à flotteur.

Il convient que la maintenabilité, particulièrement importante sur les interrupteurs à flotteurs avec parties mobiles, soit étudiée, par exemple la protection contre les rayonnements, le relevé pour les remplacements d'interrupteurs à bille, etc.

6.3 Surveillance du niveau d'eau par ultrasons

Pour éviter un traitement spécial de la surface extérieure de la cuve, le capteur peut être fixé au moyen d'un aimant permanent. Pour les matériaux à faible magnétisme, d'autres méthodes de fixation appropriées doivent être utilisées.

Pour ajuster le système de surveillance selon la géométrie de la pièce d'essai (par exemple diamètre (> 2 000 mm), épaisseur de la paroi (> 50 mm), et distance des éléments internes de la surface interne, etc.), le capteur doit pouvoir être ajusté aussi bien horizontalement que verticalement.

Pour maintenir les signaux dans une amplitude optimale, le système peut être équipé d'un amplificateur à gain automatique.

Ce type de matériel a normalement un temps de réponse (temps de réaction) de 5 s à 10 s et fonctionne jusqu'à 300 °C et 80 % d'humidité.

6.4 Capteurs de température

Les prescriptions spécifiques formulées dans ce paragraphe s'appliquent aux quatre dispositifs de mesure mentionnés en 5.2.

Les capteurs sont prévus pour être placés dans un assemblage au-dessus du cœur ou entre les assemblages de combustible. Les capteurs peuvent être placés dans un assemblage séparé ou un assemblage utilisé par exemple pour les détecteurs LPRM. Dans le cas de détecteurs de type digital, il faut placer un détecteur aussi haut que possible dans l'assemblage (probablement environ 0,5 m sous la partie supérieure de l'uranium pour un assemblage de type LPRM). Les capteurs placés au-dessus du cœur peuvent fournir des informations de qualité pour la vérification de l'état de réfrigération du cœur, après les transitoires de niveau d'eau du réacteur.

During LOCAs in the containment, the water in the instrument lines will be heated by the released steam if not cooled or properly insulated. At temperatures above design temperature, this will lead to indication errors in the level signal, which shall be corrected if the effective vertical distance of the heated instrument line exceeds a certain value.

Temperature sensors on the outside of the instrument lines should be fitted as compensator inputs. If temperature gradients along the instrument line are anticipated, an appropriate number of sensors per instrument line is required. The compensating system shall cover variations up to the saturation temperature corresponding to the design pressure of the containment.

6.2 *Float switches*

The connections to the RPV should be made by pipes having sufficient diameter to ensure that obstruction will not occur. The connections to the PRV should be chosen in such a way that very small dynamic differential pressure appears between the two connections, avoiding water flow through the communicating water column which could affect the float switch.

The equipment shall be separated according to the system requirements. One or more water columns per measuring channel may be installed. The equipment for each redundant channel shall be separated by distribution around the RPV.

Each float chamber should be provided with test tubes enabling testing of the switch function by blowing gas into the float chamber.

Maintainability, specially important on float switches with moving parts, should be considered, e.g. radiation protection, clearance for replacement of ball switches, etc.

6.3 *Ultrasonic liquid level monitoring*

To avoid special treatment of the vessel wall's outer surface, the sensor may be attached by a permanent magnet. In the case of weak magnetic materials, other suitable methods of attachment shall be used.

To adjust the monitoring system according to the geometry of the test piece (e.g. diameter (> 2 000 mm), wall thickness (> 50 mm), distance of internals from inner surface, etc.) the sensor shall be adjustable in both horizontal and vertical position.

To keep the signals in an optimal area of amplitude the system may be equipped with an automatic gain control.

Normally this type of instrument has a response time (reaction time) of 5 s to 10 s and is operable in an atmosphere of up to 300 °C and 80 % humidity.

6.4 *Temperature sensing devices*

The specific requirements formulated in this subclause apply to all four measuring devices mentioned in 5.2.

The sensors are intended to be placed in an assembly above the core or between the fuel assemblies. The sensors can be placed in a separate assembly or in an assembly used e.g. for LPRM detectors. When using digital type detectors, one detector shall be placed as high as possible in the assembly (probably about 0,5 m below the top of the uranium if an assembly of an LPRM type is used). Sensors placed above the core can provide valuable information for verifying core cooling status after reactor water-level transients.

Il convient de placer les ensembles dans la moitié du rayon du cœur. L'ensemble doit comporter des orifices (surface totale minimale 1 cm²) au-dessus et au-dessous de chaque détecteur et juste au-dessus de la plaque support combustible (égaux au carré du tube) pour s'assurer que l'eau est rapidement vidangée hors du tube pendant les transitoires. Le capteur et les câbles doivent être fixés pour éviter une détérioration due aux vibrations pendant le fonctionnement normal, les LOCA ou séismes.

Le détecteur et le câble doivent satisfaire aux prescriptions de la CEI 737.

Le temps de réponse prescrit pour atteindre le niveau d'alarme après la perte du refroidissement du capteur doit être spécifié.

Dans le cas de la réfrigération du cœur et du moniteur de température décrits en 5.2, le second mode de fonctionnement, le mode de température, permet la mesure de la température apparente dans le cœur pendant un accident grave; le choix de matériaux à haute température permettra la mesure de températures allant jusqu'à 1 250 °C.

7 Traitement des données

La conception du traitement de données doit prendre en compte la CEI 880 et la CEI 987.

8 Présentation de l'information

Les prescriptions de la CEI 964 et de la CEI 1227 sont applicables. La conception de l'affichage de l'instrumentation doit en particulier comprendre la prise en compte les facteurs suivants:

- a) adéquation de la gamme de mesure et de la sensibilité;
- b) reconnaissance des besoins et des procédures nécessitant une extension de la gamme d'affichages dans des situations de fonctionnement spéciales;
- c) repérage, identification par exemple par un code de couleurs;
- d) temps de réponse;
- e) interface homme-machine par exemple types d'affichage (digital/analogique, synoptique, enregistreur, instruments de panneaux ou indicateurs);
- f) validité des signaux dans les conditions normales et de défaut;
- g) formation des opérateurs formés à l'interprétation de l'information et sa validité.

Il convient que l'instrumentation soit conçue pour faciliter la reconnaissance, la localisation, le remplacement, la réparation ou le réglage des défauts des composants ou unités.

Il convient que la conception de l'instrumentation de surveillance réduise le développement de conditions susceptibles de provoquer des indications anormales des compteurs, organes de signalisation, enregistreurs alarmes, etc., risquant de tromper l'opérateur. Il convient que l'analyse des facteurs humains soit utilisée pour la détermination du type et de l'emplacement des affichages.

Si possible, il convient d'utiliser les mêmes instruments pour la surveillance des accidents que pour le fonctionnement normal de la centrale afin de permettre, en situation accidentelle, aux opérateurs de ne pas se trouver confrontés à des instruments nouveaux.

The assemblies should be placed within half the radius of the core. The assembly shall have holes (total area minimum 1 cm²) beneath and above each detector and just above the fuel support plate (equal to the tube square) to ensure that water is rapidly drained out of the tube during transients. The sensor and cables shall be fixed to avoid damage due to vibrations during normal operation, LOCA or earthquake.

The detector and cable shall fulfil the requirements of IEC 737.

The required response time to reach the alarm level after the cooling of the sensor has been lost shall be specified.

In the case of core cooling and temperature monitor described in 5.2, the second mode of operation, the temperature mode, makes it possible to measure the bulk temperature in the core during a severe accident. The selection of high temperature materials will permit the measurement of temperature up to 1 250°C.

7 Data processing

The design of data processing shall take into consideration IEC 880 and IEC 987.

8 Presentation of information

The requirements in IEC 964 and IEC 1227 are applicable. The design of the instrumentation display shall include consideration, especially of the following factors:

- a) adequacy of the measuring range and of the sensitivity;
- b) recognition of the needs and procedures requiring an extension of the range of display under special operational situations;
- c) identification, e.g. designation and colour coding;
- d) response time;
- e) man-machine interface e.g. type of displays (digital/analog, mimic diagram, recorder, panel instruments or indicators);
- f) validity of signals in normal and fault conditions;
- g) operator training in the interpretation of information and its validity.

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

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

Where possible, the same instruments should be used for 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 Prescriptions de redondance et de diversité

Une classification des mesures (en particulier les mesures des fonctions) peut être effectuée conformément à la CEI 1226 (voir article 5). Dans la CEI 1226, la liste des fonctions importantes pour la sûreté peut être divisée en deux:

- catégorie A: Systèmes de sûreté (traités dans le Guide AIEA 50-SG-D3) et
- catégories B et C: Systèmes liés à la sûreté (traités dans le Guide AIEA 50-SG-D8 comme pour la catégorie A).

Les exigences relatives à la classification doivent être respectées. Pour la catégorie A (systèmes de sûreté), le critère de défaillance unique doit être satisfait. Cela signifie qu'il convient qu'aucune défaillance unique dans l'instrumentation de surveillance de niveau, ses structures auxiliaires de support ou ses sources d'alimentation survenant en même temps que les défaillances qui sont la condition ou le résultat d'un accident spécifique, n'empêche les fonctions automatiques nécessaires ou les opérateurs de recevoir des informations nécessaires pour amener la centrale ou pour la maintenir dans des conditions sûres, à la suite de cet accident.

Pour satisfaire au critère de défaillance unique, un nombre minimal de deux voies redondantes est généralement nécessaire. Des prescriptions supplémentaires, comme la possibilité d'effectuer des réparations pendant le fonctionnement, conduit à l'utilisation de trois canaux ou plus.

Lorsqu'un type de système ne satisfait pas à toutes les prescriptions fonctionnelles pendant les accidents de base de conceptions spécifiés, il convient d'utiliser d'autres méthodes. Lorsque la défaillance d'un niveau de contrôle crée une ambiguïté dans l'information (en d'autres termes, une divergence dans les affichages redondants dans un système à deux voies) susceptible d'empêcher les opérateurs d'accomplir une fonction de sûreté demandée, une information supplémentaire est nécessaire pour permettre aux opérateurs la détermination des conditions réelles de la centrale. Il convient que les voies redondantes ou diverses soient indépendantes électriquement et séparées physiquement les unes des autres et également du matériel qui n'est pas classé comme important pour la sûreté, jusqu'aux dispositifs d'isolation compris. Il n'est pas nécessaire de prévoir des moniteurs redondants dans chaque voie redondante d'un système de sûreté.

10 Vérification et étalonnage

Un étalonnage initial doit être effectué avant l'installation, en conformité avec les prescriptions des règles nationales. Des essais d'étalonnage doivent être ensuite effectués périodiquement. Quelques exemples en sont donnés dans l'annexe A.

11 Essais et entretien en service

Les moniteurs doivent être conçus et installés de telle façon qu'il soit possible de vérifier avant utilisation et à intervalles réguliers, la conformité de leur fonctionnement avec leur performance spécifiée. Les éléments de conception doivent être incorporés pour permettre l'étalonnage requis (article 10), les vérifications de performance de routine et d'autres essais pour satisfaire aux prescriptions définies pour assurer la fonction de sûreté des moniteurs. Quelques exemples d'étalonnage et d'essais en service sont donnés dans l'annexe B.

12 Qualification

Il convient que l'instrumentation soit qualifiée selon la CEI 780.

La qualification s'applique à la voie d'instrumentation complète du capteur à l'affichage, où l'affichage est un indicateur à lecture directe ou dispositif d'enregistrement. Si la voie d'instrumentation comprend un matériel à microprocesseurs, la CEI 880 et la CEI 987 sont applicables.

Il convient que la partie appliquée de la qualification sismique soit, dans la mesure du possible, en accord avec la CEI 980. Si nécessaire, il convient que le système de mesure fonctionne avec la précision requise pendant un séisme.

9 Requirements for redundancy and diversity

A possible classification of the measurement (precisely the measurement functions) is to be performed according to IEC 1226 (see clause 5). In IEC 1226, the set of functions important to safety can be divided into two subsets:

- category A safety systems (dealt with in IAEA safety series 50-SG-D3) and
- categories B and C safety-related systems (dealt with in IAEA safety series 50-SG-D8 together with category A).

The requirements according to classification shall be fulfilled. In case of category A (safety systems), the single failure criterion has to be fulfilled. This means that no single failure within either the level monitoring instrumentation, its auxiliary supporting features, or its power sources concurrent with the failures that are a condition or result of a specific accident should prevent necessary automatic functions or the operators from getting the information necessary to bring the plant to, and maintain it in, a safe condition following that accident.

To fulfil the single failure criteria, normally a minimum of two redundant channels is required. Additional requirements, such as the need to repair during operation, lead to three or more channels.

Diverse methods should be used when one type of system does not meet all functional requirements during specified design basis accidents. Where failure of one level-monitoring channel results in information ambiguity (that is, the redundant displays in a two-channel system disagree) that could prevent operators from accomplishing a required safety function, additional information should be provided to allow the operators to determine the actual conditions in the plant. Redundant or diverse channels should be electrically independent and physically separated from each other and from equipment not classified as important to safety up to and including any isolation device. Within each redundant channel of a safety system, redundant monitors are not needed.

10 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. Some examples are given in annex A.

11 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 10), routine performance checks and any other testing to meet requirements defined to ensure the safety function of the monitors. Some examples of calibration and in-service testing are given in annex B.

12 Qualification

The instrumentation should be qualified in accordance with IEC 780.

Qualification applies to the complete instrumentation channel from sensor to display where the display is a direct indicating meter or recording device. If the instrumentation channel includes microprocessor based equipment, IEC 880 and IEC 987 shall apply.

The applied portion of seismic qualification should, if applicable, be in accordance with IEC 980. If required, the measuring system should function within the required accuracy during an earthquake.

13 Documentation

La conception aussi bien que l'historique d'exploitation de l'instrumentation doivent être documentés. La documentation doit comprendre des calculs, rapports, dessins, documents de qualification, feuilles d'étalonnage, rapports de défauts, etc. La documentation doit toujours comprendre la situation réelle du matériel et son historique.

Les articles appropriées de la CEI 780, de la CEI 880 et de la CEI 987 sont applicables.

13 Documentation

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

Applicable clauses of IEC 780, IEC 880 and IEC 987, shall apply.

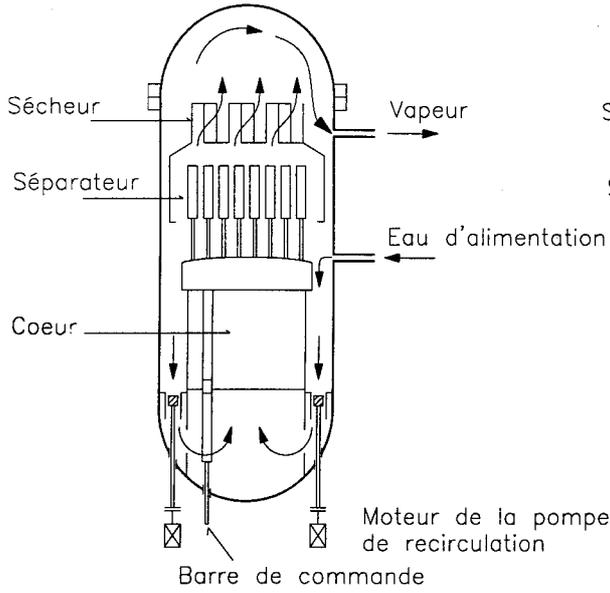


Figure 1a – Pompes internes

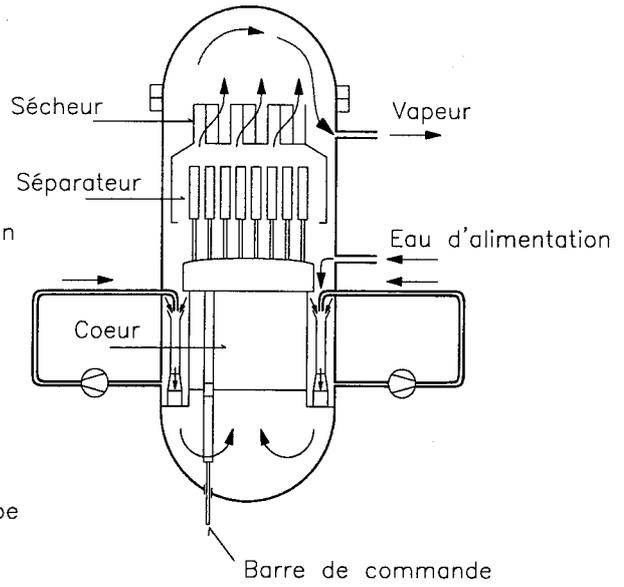


Figure 1b – Pompes d'injection

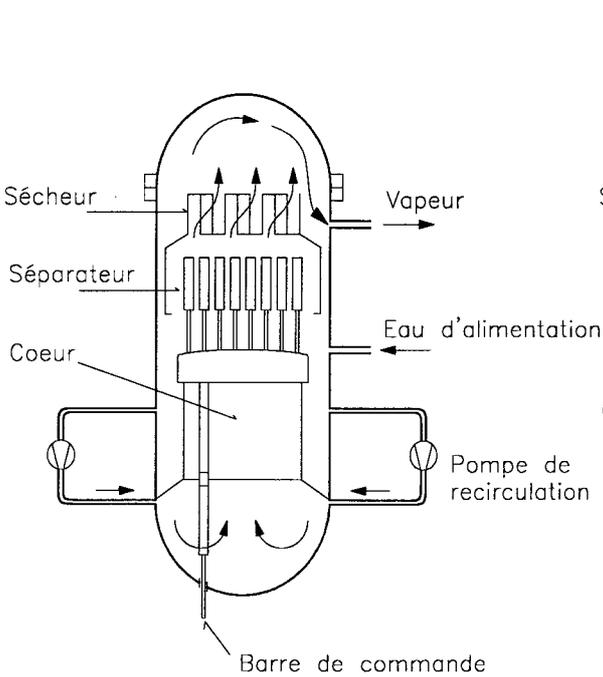


Figure 1c – Pompes externes

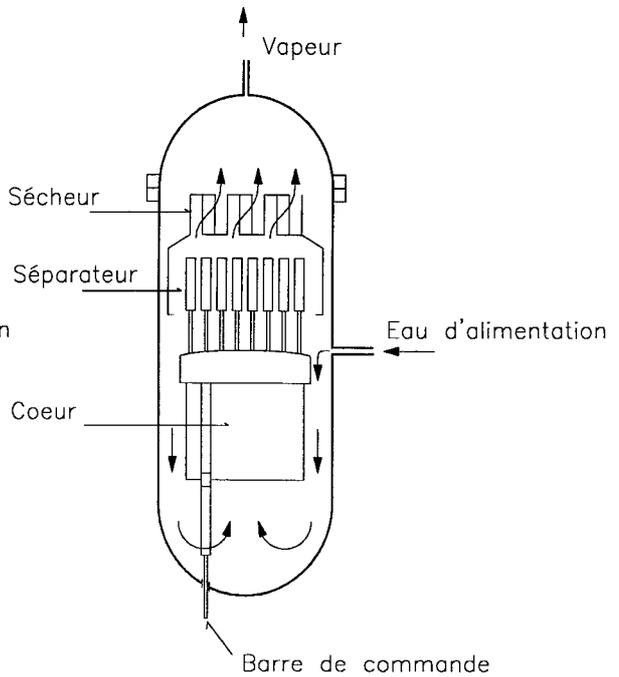


Figure 1d – Circulation naturelle

Figure 1 – Les quatre méthodes de circulation du réfrigérant à travers le cœur du BWR

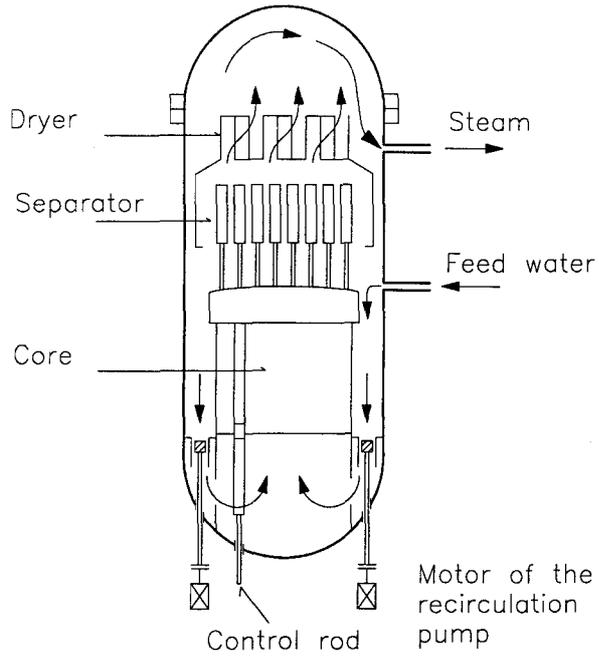


Figure 1a - Internal pumps

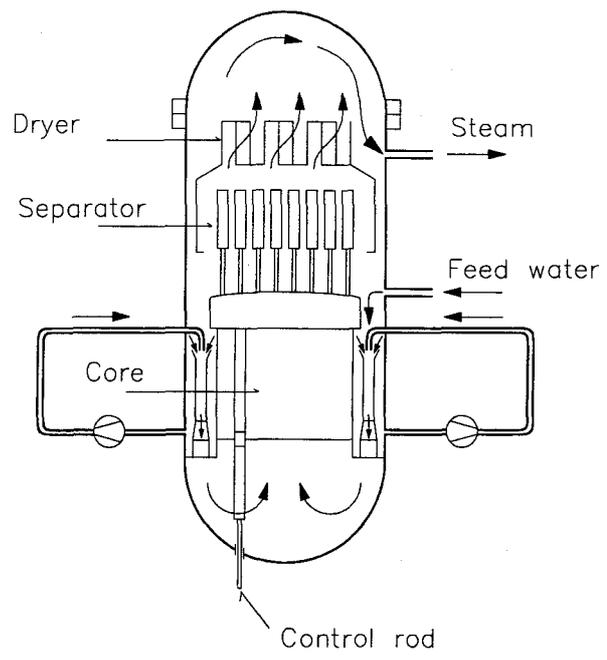


Figure 1b - Jet pumps

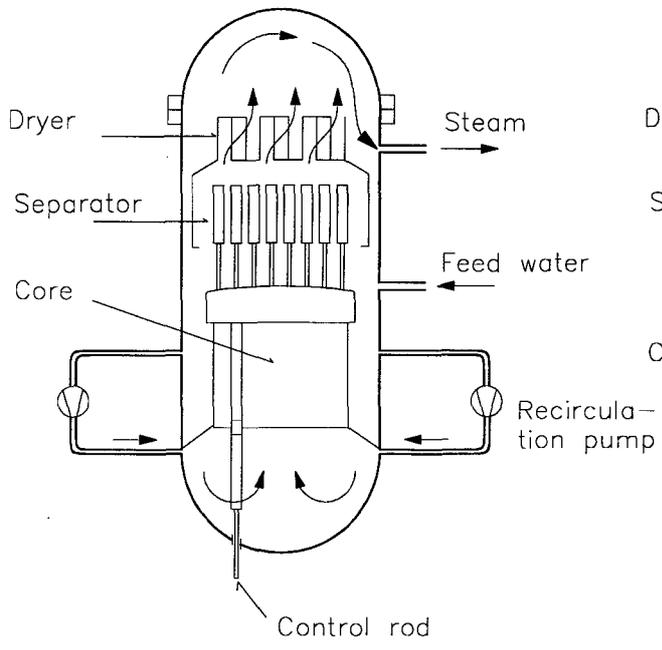


Figure 1c - External pumps

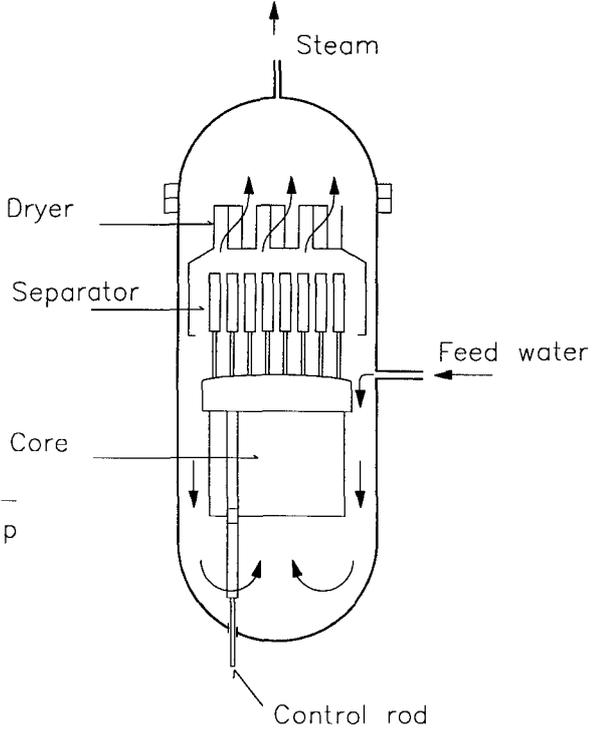


Figure 1d - Natural circulation

Figure 1 - The four methods of coolant circulation through the core of a BWR

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

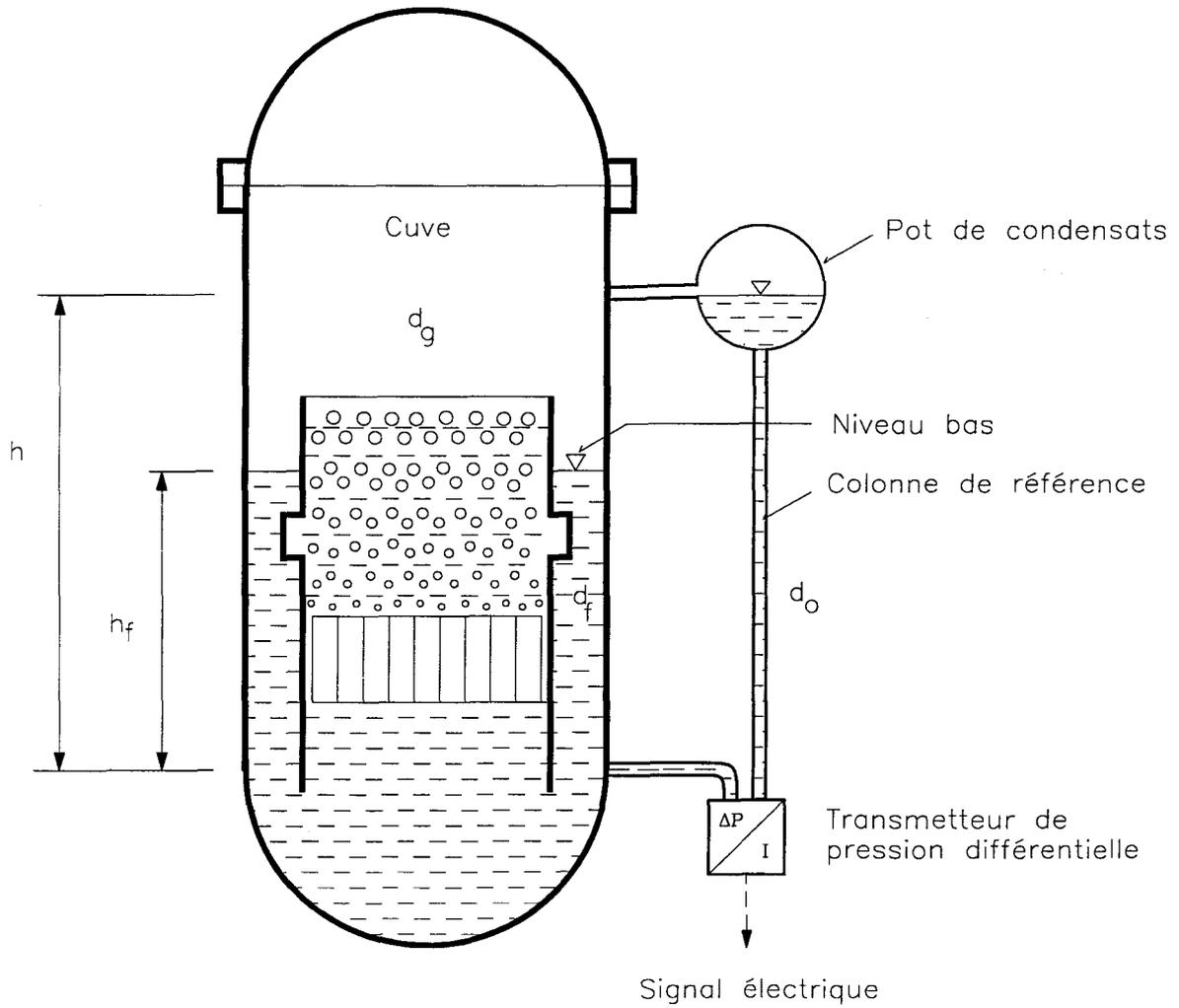


Figure 2 – Principe physique de la mesure du niveau d'eau dans la cuve du réacteur par la méthode de la pression différentielle

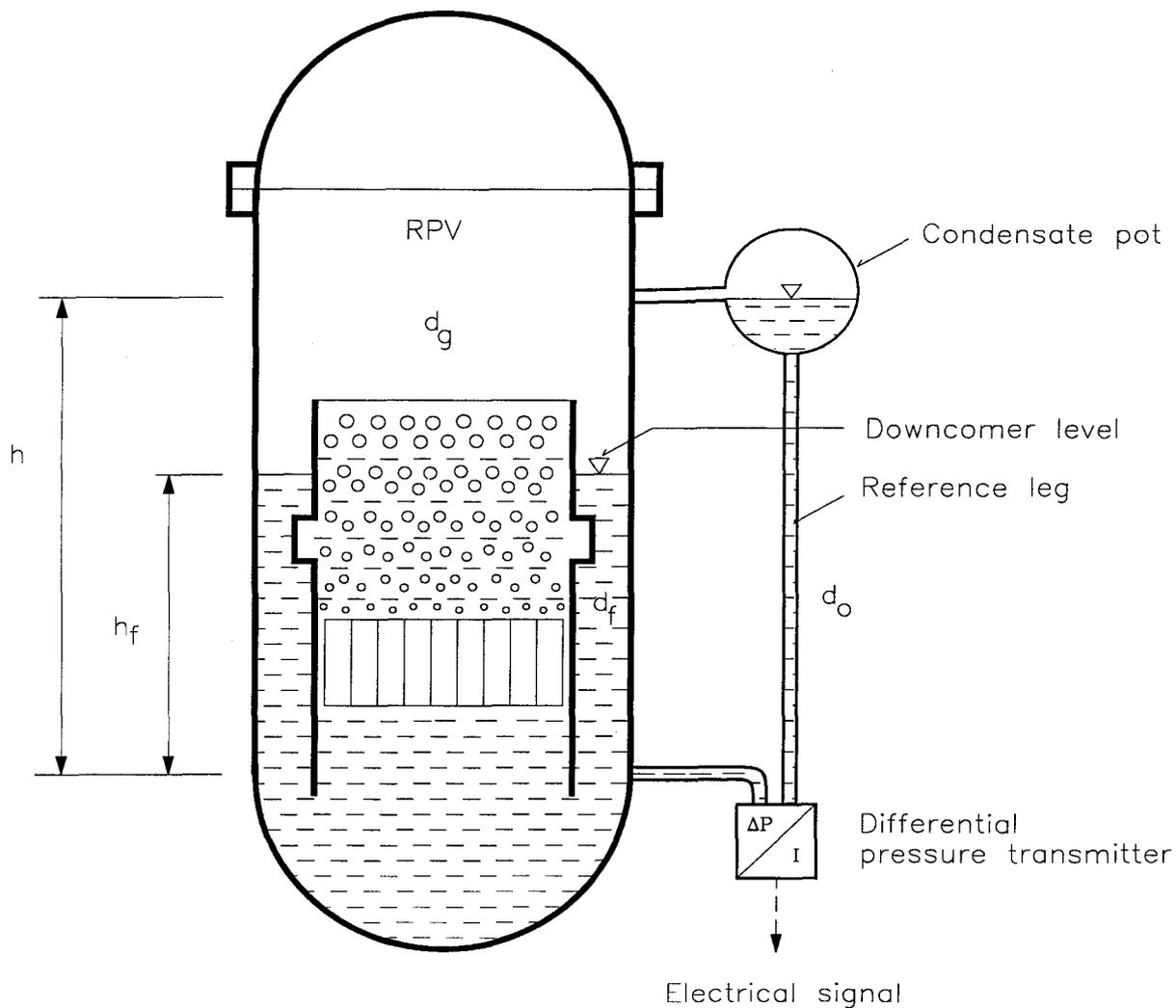
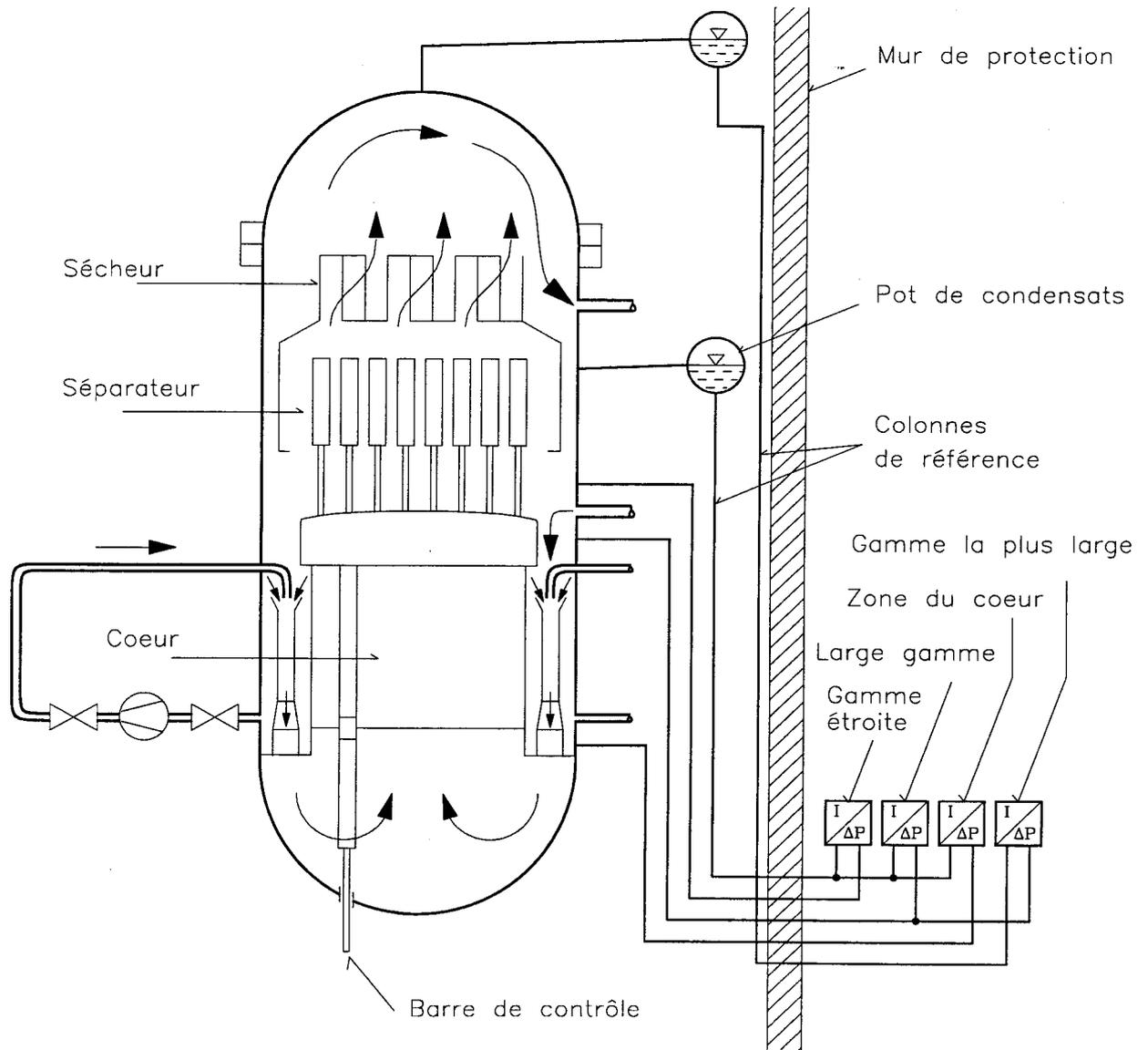
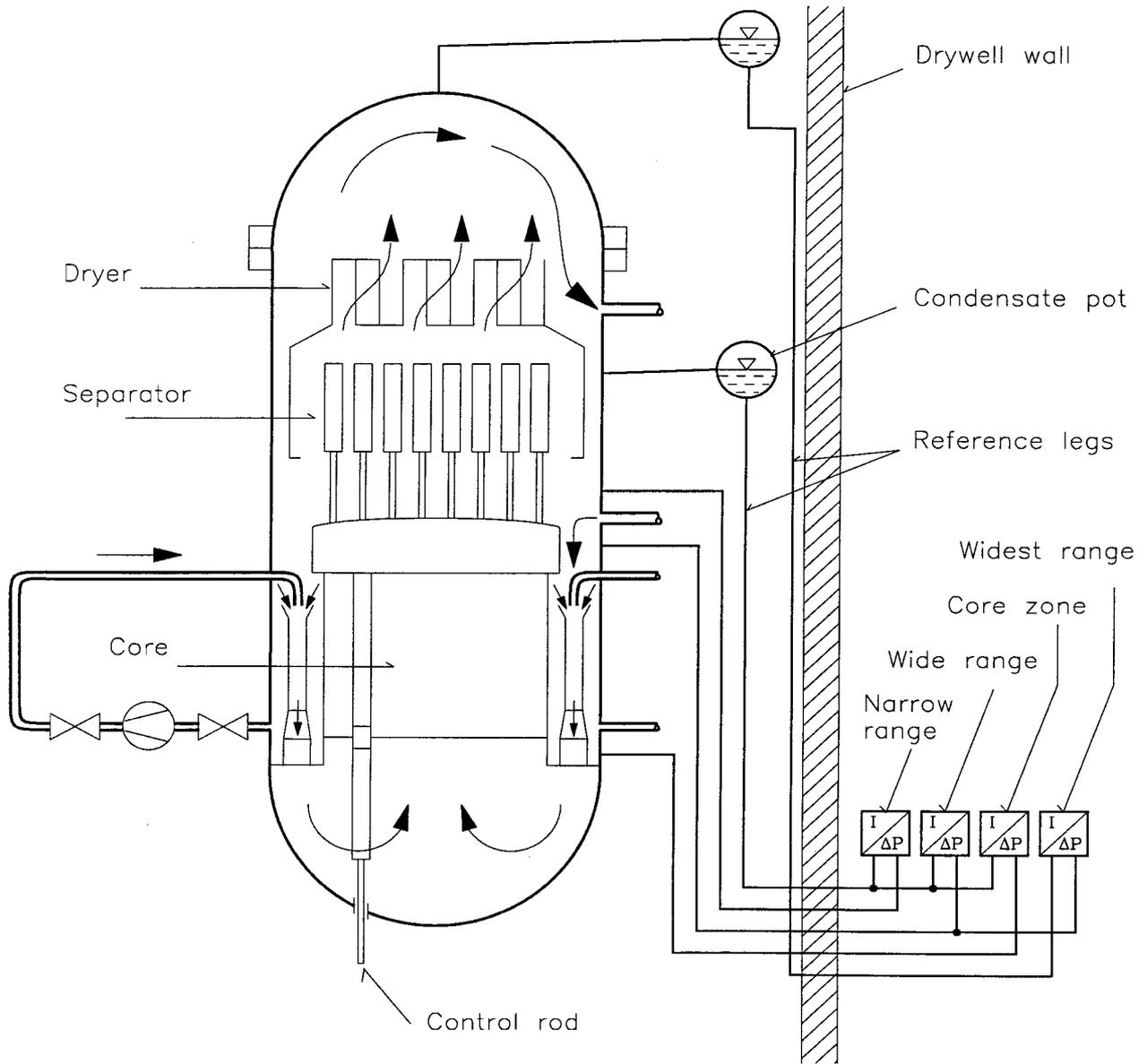


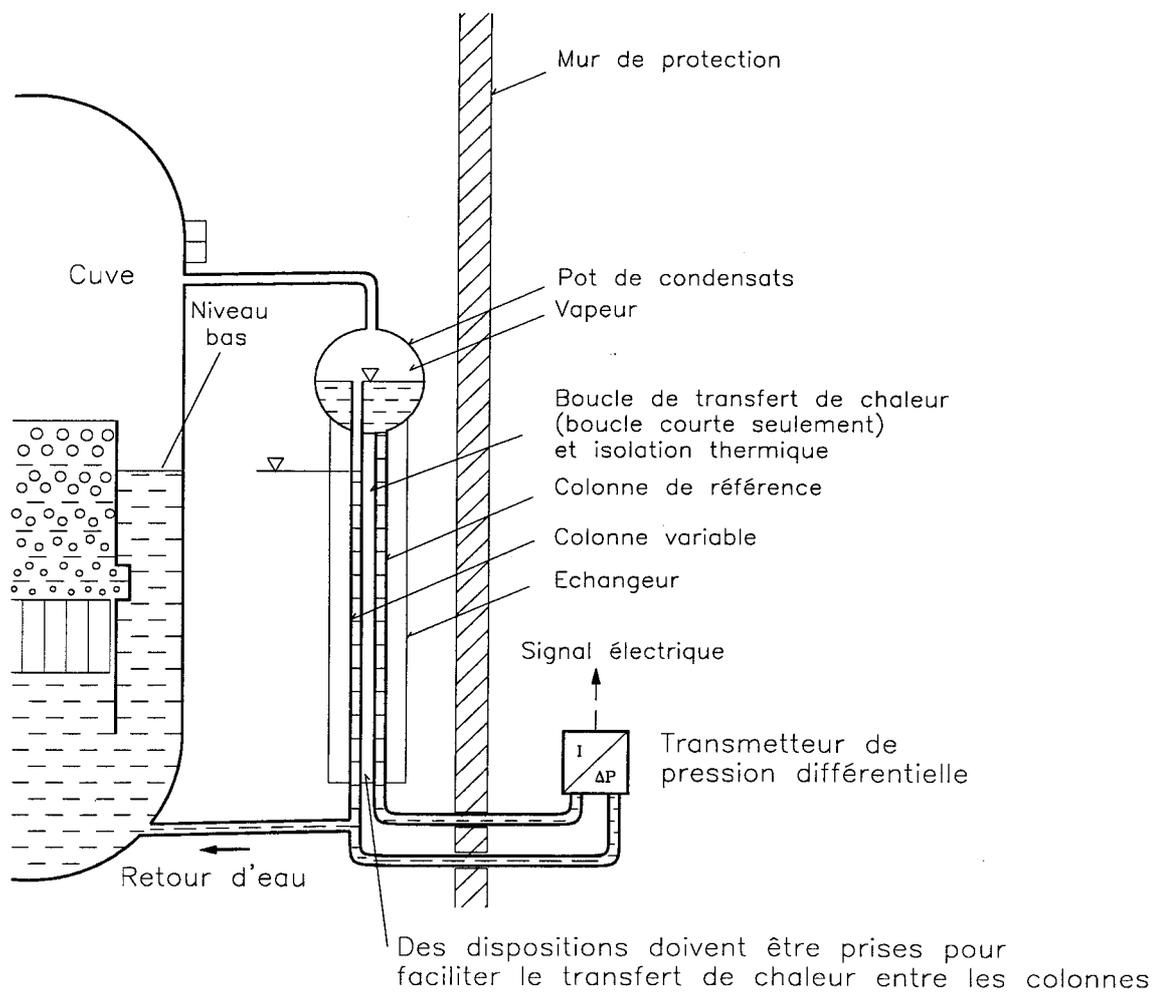
Figure 2 – Physical principle of reactor vessel level measurement by differential pressure method



**Figure 3a – Mesures du niveau cuve réacteur par la méthode de la pression différentielle –
Surveillance typique du niveau du réfrigérant dans la boucle froide d'un BWR**



**Figure 3a – Reactor vessel level measurements by differential pressure method –
Typical cold leg coolant level monitoring at a BWR**



**Figure 3b – Mesures du niveau cuve réacteur par la méthode de la pression différentielle –
Colonne variable externe à la cuve par référence à la colonne adjacente**

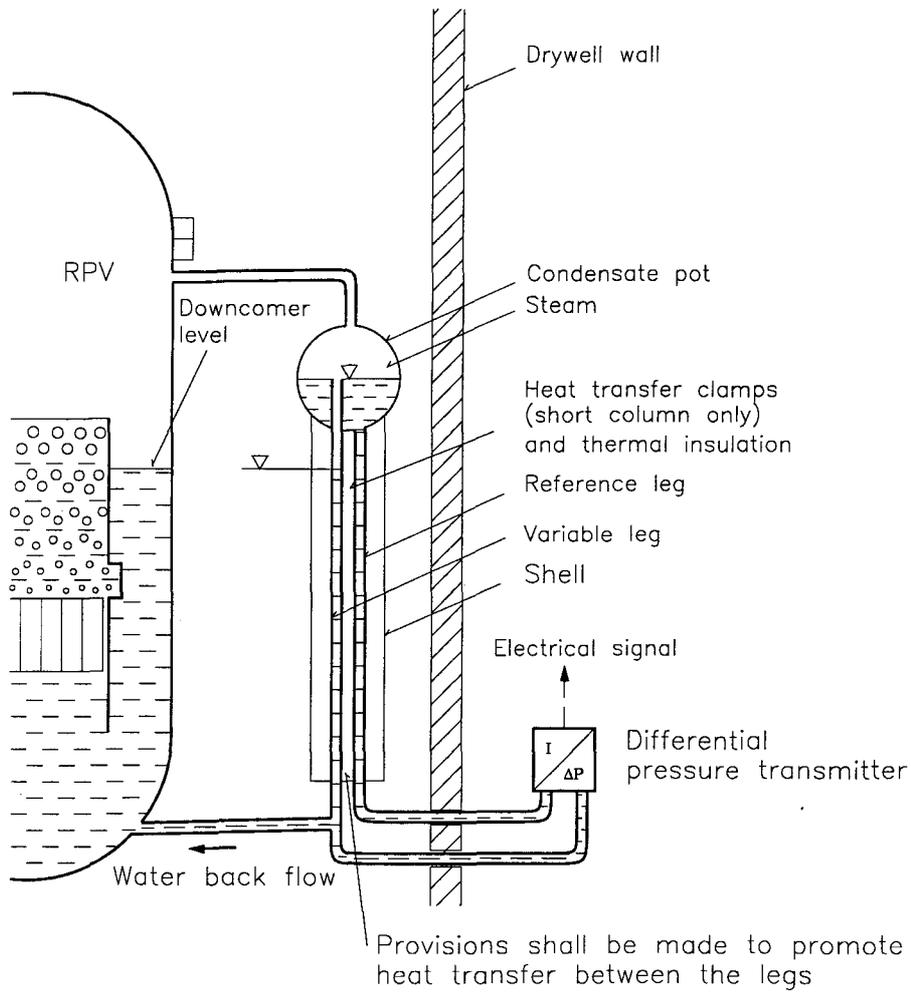


Figure 3b – Reactor vessel level measurements by differential pressure method – External-to-vessel variable leg with reference leg adjacent

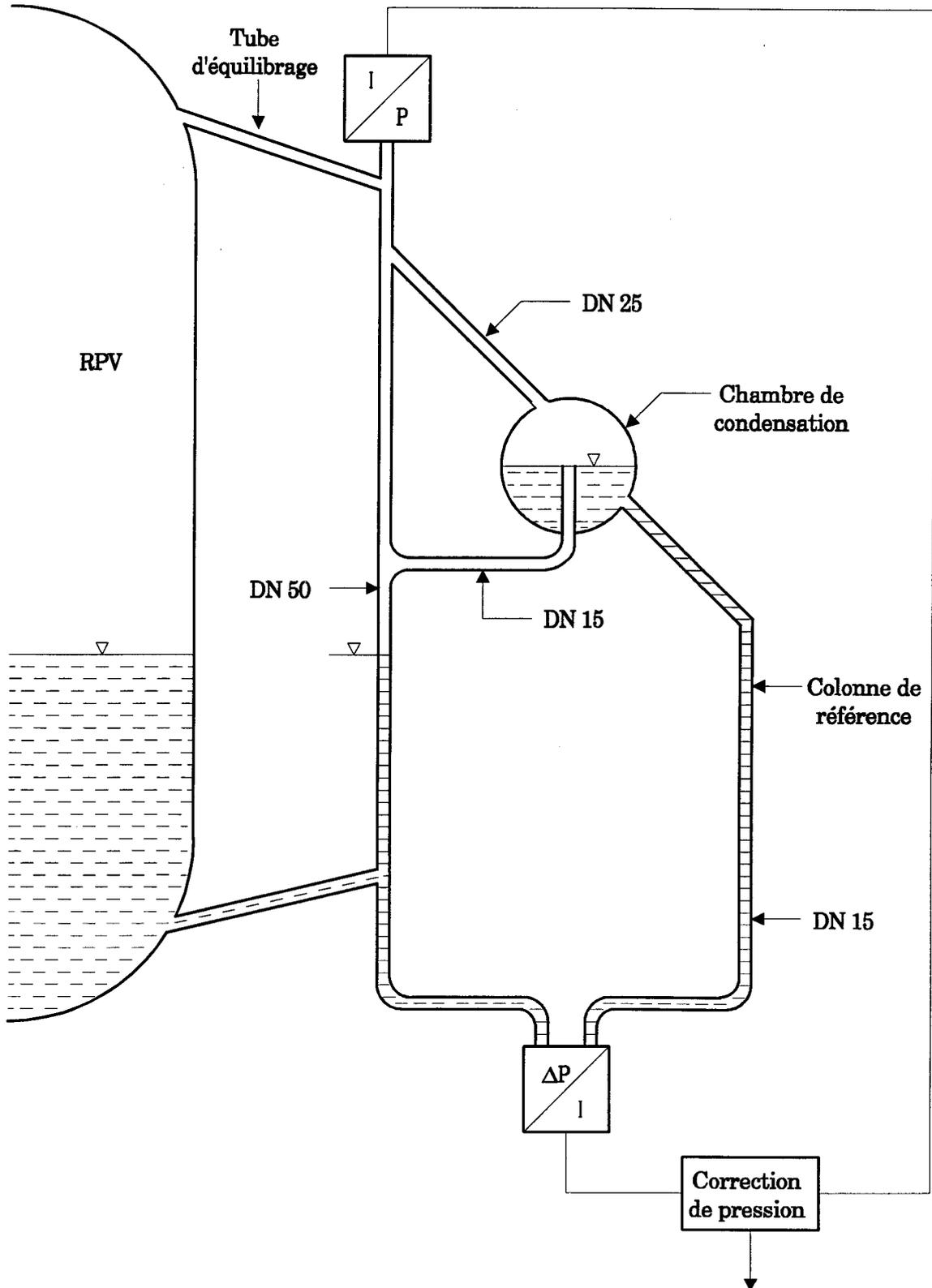
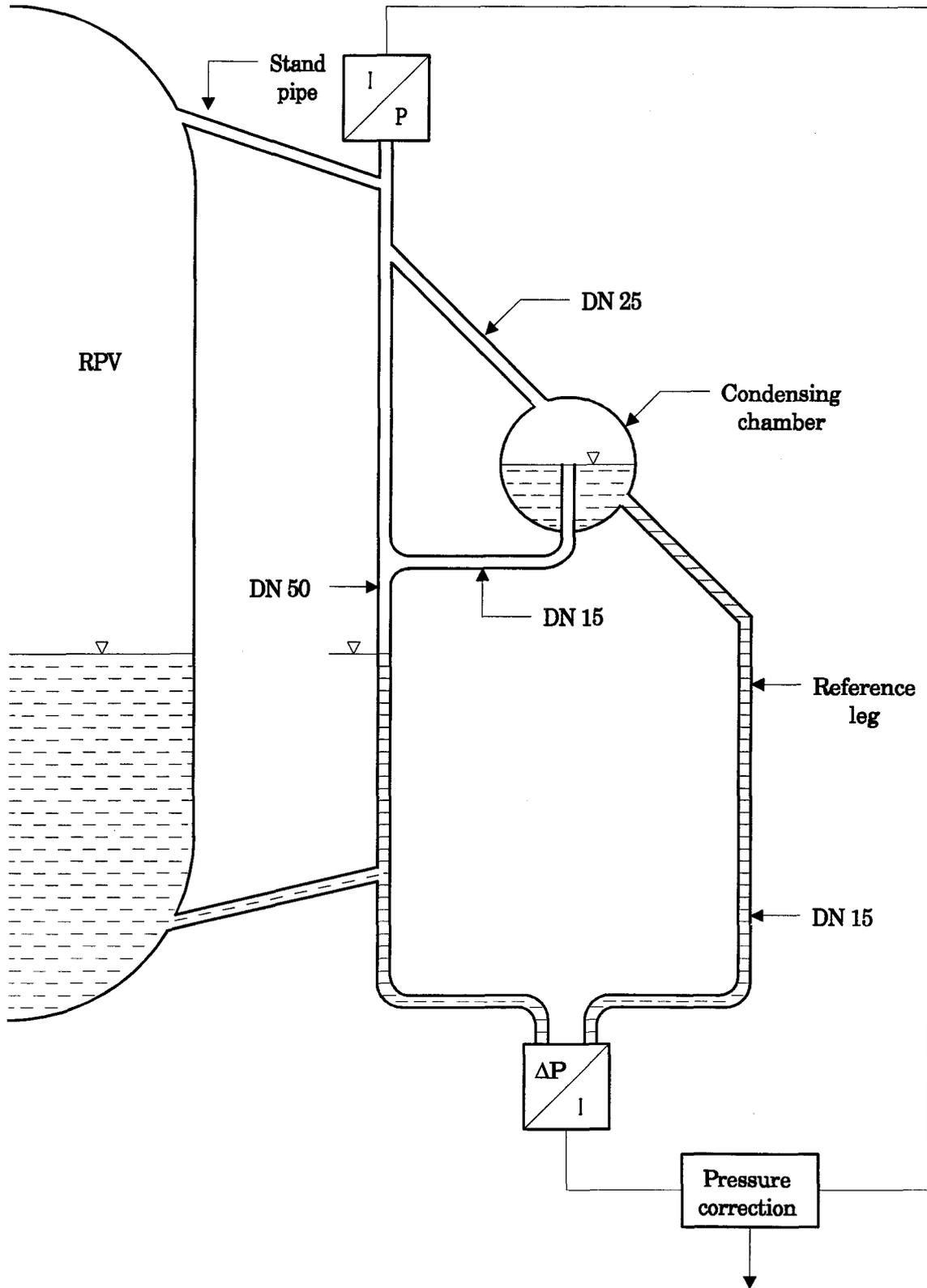


Figure 3c - Configuration par tube d'équilibrage

Figure 3 - Mesures du niveau cuve réacteur par la méthode de la pression différentielle



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

Figure 3c – Stand pipe configuration

Figure 3 – Reactor vessel level measurements by differential pressure method

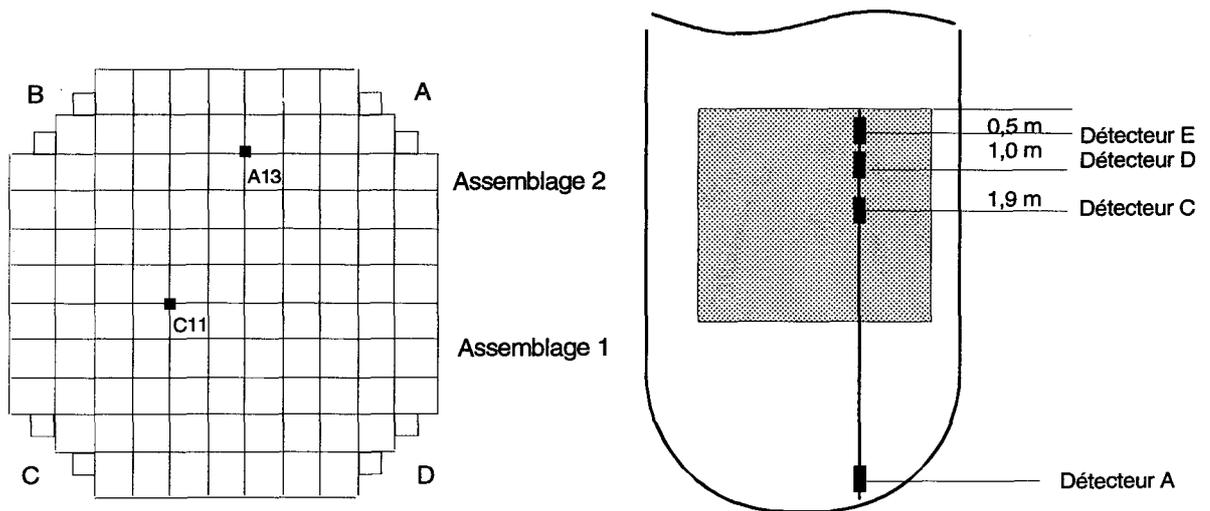
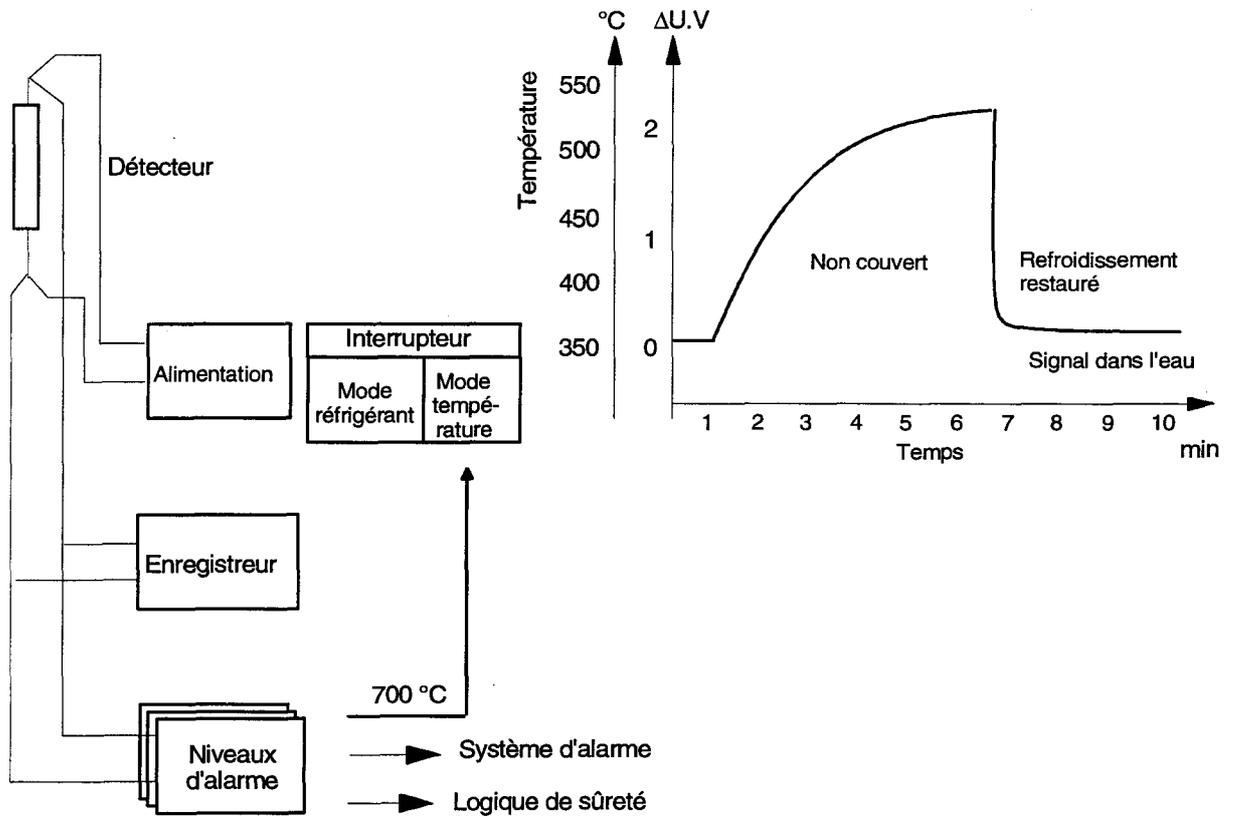


Figure 4 – Refroidissement du cœur et moniteur de température

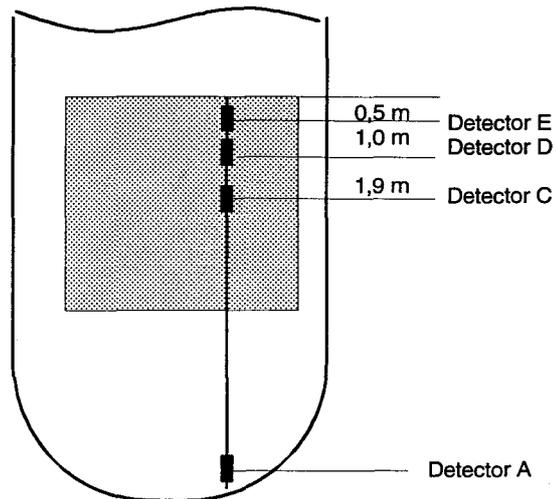
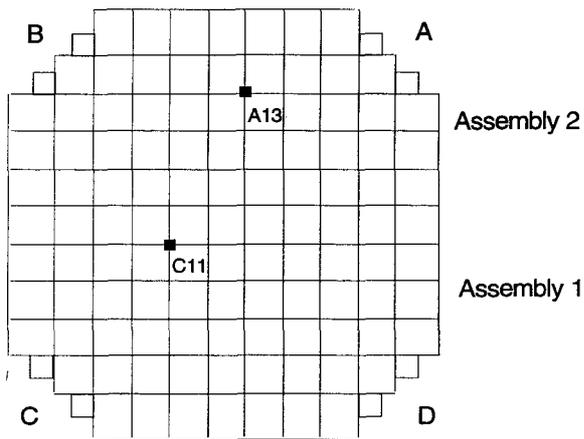
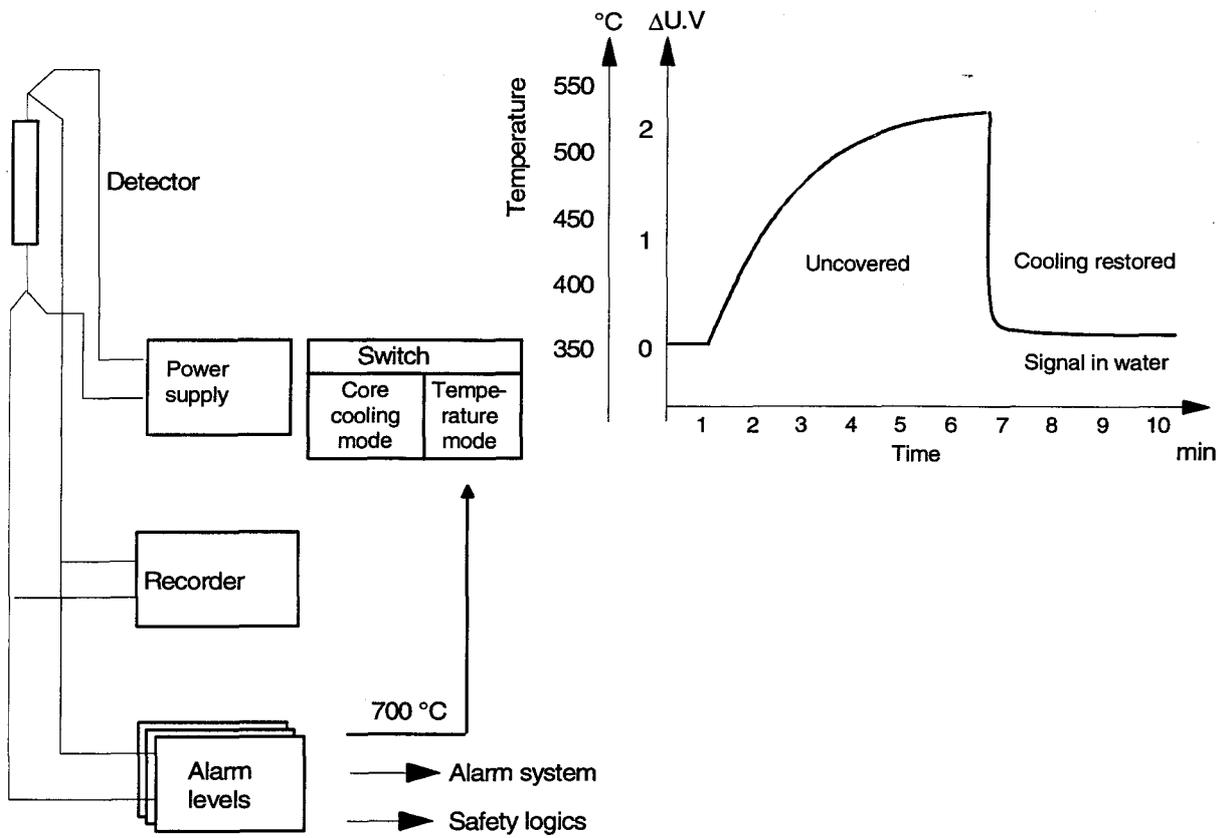


Figure 4 – Core cooling and temperature monitor

Annexe A (informative)

Vérification et qualification

Exemples:

Dans le cadre du système de mesure différentielle appliqué aux BWR allemands, la vérification et l'étalonnage ont été effectués dans la centrale de Gundremmingen, en baissant le niveau d'eau dans la cuve pendant les essais opérationnels.

De plus, des essais de fiabilité ont été menés pendant une période de deux ans entre 1979 et 1981, dans la centrale allemande d'Isar 1 (KKI-1), quatre ans après sa mise en service. Le taux de défaillance du système de traitement de données s'est révélé inférieur à $2 \times 10^{-7}/h$. Dans le cas de mesures de d/p , le taux de défaillance de $2 \times 10^{-6}/h$ est comparable à celui du système de mesure du flux neutronique de $1,5 \times 10^{-6}/h$.

Des essais de fonctionnement sont effectués chaque année sur les interrupteurs à flotteurs installés sur deux niveaux, soit quatre interrupteurs dans les deux premiers réacteurs suédois, en injectant du gaz dans la chambre de l'interrupteur à flotteur. Lors de certains essais, le niveau d'eau dans la cuve du réacteur a été réduit au niveau de commutation supérieur (1 m au-dessus du cœur) et la fonctionnalité des interrupteurs a été vérifiée. Parallèlement, la lecture du capteur de pression différentielle a été vérifiée, lors de l'ouverture du circuit d'alarme par l'interrupteur à flotteur.

Dans la centrale suisse de Mühleberg, le capteur de pression différentielle est étalonné et l'on procède à des essais des indicateurs de niveau et des points de consigne d'arrêt d'urgence, par l'adjonction d'une source de pression externe. A la fin de l'arrêt du réacteur, lors de l'ouverture de la cuve, le niveau d'eau varie et les hauteurs connues de certaines pièces internes du cœur permettent la vérification de l'indication de niveau. Il est également procédé aux essais de simultanéité des points de consigne d'arrêt d'urgence de cinq à sept indications de niveau différentes.

Annex A

(informative)

Verification and qualification

Examples:

In the case of the differential measurement system applied to German BWRs the verification and calibration were carried out in the NPP in Gundremmingen by lowering the water-level in the pressure vessel during operational tests.

In addition, reliability tests were carried out in the German NPP Isar 1 (KKI-1) for two years, between 1979 and 1981, four years after the first operation. It was found that the fault rate in the data processing system was less than $2 \times 10^{-7}/h$. The fault rate in the case of the d/p measurements was $2 \times 10^{-6}/h$ which was comparable with that of the neutron-flux measurement system of $1,5 \times 10^{-6}/h$.

Float switches installed at two levels (four switches in each) in the first two Swedish reactors are annually function-tested by means of blowing gas into the float switch chamber. During some tests, the water-level was lowered in the RPV to the upper switch level (1 m above the core) and the functionality of the switches verified. At the same time, the differential pressure transmitter reading was checked when the float switch opened the alarm circuit.

In the Swiss NPP, Mühleberg, the differential pressure transmitter is calibrated and the level indications, as well as the trip set points, are tested by providing an external pressure source. In the end of the outage, when the RPV is open, the water-level is varied and the well-known heights of some core internals allow the verification of the level indication. The concurrence of the trip set points of five to seven different level indications are tested as well.

Annexe B
(informative)
Essais et maintenance

Exemples:

Les essais en service, dans le cas de la mesure de pression différentielle, sont continus pendant le fonctionnement normal, en comparant les quatre systèmes redondants dans les BWR allemands. Les lignes d'instrumentation sont toujours purgées après essais et/ou maintenance.

En Suède, les lignes d'instrumentation des BWR sont remplies avec de l'eau dégazée lors de chaque arrêt annuel. Les transmetteurs de pression différentielle sont étalonnés tous les ans. La fonction interrupteurs flottants est essayée selon l'article 10.

En Suisse, les capteurs de pression différentielle des BWR sont étalonnés tous les ans. Après cette procédure les tubes des instruments sont remplis avec de l'eau déminéralisée. Tous les trois mois, les points de consigne d'arrêt d'urgence et la valeur mesurée par comparaison de l'équipement entre les voies redondantes sont essayés.

Annex B
(informative)
Testing and maintenance

Examples:

In-service testing, in the case of differential pressure measurement, is continuous during normal operation by comparing the four redundant systems in German BWRs. Instrumentation lines are always flushed after testing and/or maintenance.

In Swedish BWRs, instrument lines are filled with degassed water during each annual outage. Differential pressure transmitters are calibrated each year. The function of float switches is tested according to clause 10.

In Swiss BWRs, differential pressure transmitters are calibrated each year. After this procedure, the instrument tubes are filled with demineralized water. Every three months, the trip set points and the measuring value comparison equipment between redundant channels are tested.

Annexe C
(informative)
Bibliographie

Annex C
(informative)
Bibliography

- [1] Löhr E., Walleser A. and Hübschen G. *Ultra-Sonic Liquid Level Monitoring*. Paper presented at the European Nuclear Conference (ENC'90) Lyon, France, 23-28 September 1990.
- [2] Schmidt H., Reimann H. and Kiehne H. *A New Method of Level Measurement for the Reactor Pressure Vessels of Pressurized Water Reactors*. VGB Kraftwerkstechnik 65, July 1985.
- [3] Becker K.M., Eliasson B., Gröndalen O., Johansson T., Askeljung P., Bergman B. and Gärdinge M. *KTH-NEL-52 Performance Studies of a New Core Cooling Monitor in a Boiling Water Reactor*. Department of Nuclear Reactor Engineering. Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden, March 1992. Presented at OCDE (NEA) CSNI Specialist Meeting on Instrumentation to Manage Severe Accidents GRS, Cologne, Germany, 16-17 March 1992.
- [4] Ara K., Katagiri M., Termaat K-P., Mostert P., Johnson T. and Knudsen K. *Design and Experience with the BICOTH-Type Reactor Water-Level Gauge for the Dodewaard Nuclear Power Plant*. IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 36, No. 1, 1989.
- [5] Becker K.M., Eliasson B., Gröndalen O., Johansson T., Hedberg S., Askeljung P., Bergman B. and Gärdinge M. *KTH-NEL-53 Development of a new core cooling monitor and performance studies in a boiling water reactor*. Department of Nuclear Reactor Engineering. Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden, April 1992.
-

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

ICS 27.120.20
