

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
61505**

Première édition
First edition
1998-11

**Instrumentation des réacteurs nucléaires –
Réacteurs à eau bouillante (BWR) –
Surveillance de la stabilité**

**Nuclear reactor instrumentation –
Boiling water reactors (BWR) –
Stability monitoring**

© IEC 1998 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	8
Articles	
1 Domaine d'application et objet.....	10
2 Références normatives.....	10
3 Termes et définitions.....	12
4 Abréviations	16
5 Principes physiques, mesures et analyses des instabilités	18
5.1 Principes physiques relatifs aux instabilités du coeur du BWR	18
5.2 Eventuelles conséquences des instabilités du coeur	20
5.3 Principes de mesure	22
5.4 Méthodes d'analyse	24
6 Prescriptions fonctionnelles.....	28
6.1 Surveillance en ligne	28
6.2 Surveillance en mode autonome.....	30
6.3 Interface homme/machine	30
6.4 Temps de réaction	30
6.5 Précision.....	30
6.6 Robustesse.....	30
7 Classification de sûreté	32
8 Prescriptions techniques	32
8.1 Système d'acquisition de données.....	32
8.2 Système de traitement de données et interface opérateur.....	32
8.3 Matériel (HW)	34
8.4 Logiciel (SW)	34
9 Vérification et validation	34
10 Essais et maintenance	34
11 Qualification et documentation.....	34

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
INTRODUCTION	9
Clause	
1 Scope and object	11
2 Normative references	11
3 Terms and definitions	13
4 Abbreviations	17
5 Physics, measurement and analyses of instabilities	19
5.1 Physics of BWR core instabilities	19
5.2 Possible consequences of core instabilities	21
5.3 Measuring principles	23
5.4 Analysis methods	25
6 Functional requirements	29
6.1 On-line monitoring	29
6.2 Off-line monitoring	31
6.3 Man-machine interface	31
6.4 Response time	31
6.5 Accuracy	31
6.6 Robustness	31
7 Safety classification	33
8 Technical requirements	33
8.1 Data acquisition system	33
8.2 Data processing and operator interface system	33
8.3 Hardware (HW)	35
8.4 Software (SW)	35
9 Verification and validation	35
10 Testing and maintenance	35
11 Qualification and documentation	35

Figures

1	Les quatre méthodes de recirculation du réfrigérant dans le coeur d'un BWR.....	36
2	Mécanismes de réaction neutronique,thermique et hydraulique.....	38
3	Mécanismes de réaction relatifs à l'instabilité de la réactivité neutronique et thermo-hydraulique couplée.....	40
4	Exemple de moniteur de stabilité du BWR	42

Annexes

A	Détection et suppression automatiques	44
B	Exemples d'oscillations de puissance du BWR	46
C	Exemples d'essais d'instabilité	50
D	Concept de la prévention contre les instabilités.....	62
E	Expérience de fonctionnement réalisée pour la surveillance de stabilité	68
F	Estimation de la fonction caractéristique du bruit neutronique	74
G	Estimation de la différence de phase	78
H	Bibliographie	80

	Page
Figures	
1 The four methods of coolant recirculation through the core of a BWR	37
2 Neutronic and thermal-hydraulic feedback mechanisms	39
3 Feedback mechanisms for coupled neutronic-thermalhydraulic reactivity instability	41
4 Example of BWR stability monitor.....	43
Annexes	
A Automatic detection and suppression.....	45
B Examples of BWR power oscillation occurrences.....	47
C Examples of instability tests	51
D Instability prevention concept	63
E Operating experience with stability monitoring	69
F Estimation of neutron noise characteristic function.....	75
G Estimation of phase difference	79
H Bibliography	81

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

INSTRUMENTATION DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES – RÉACTEURS À EAU BOUILLANTE (BWR) – SURVEILLANCE DE LA STABILITÉ

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 61505 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/336/FDIS	45A/344/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, C, D, E, F, G et H sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

—————

**NUCLEAR REACTOR INSTRUMENTATION –
BOILING WATER REACTORS (BWR) –
STABILITY MONITORING**

FOREWORD

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

International Standard IEC 61505 has been prepared by subcommittee 45A: Reactor instrumentation, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

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

FDIS	Report on voting
45A/336/FDIS	45A/344/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, C, D, E, F, G and H are for information only.

INTRODUCTION

L'instabilité thermique et hydraulique est un phénomène connu dans les centrales thermiques classiques à vapeur. Des oscillations de flux eau-vapeur, au sein de centrales à vapeur, peuvent provoquer une surchauffe de canal locale. Ce phénomène et ses conséquences au niveau de la conception des centrales à vapeur sont largement documentés. Dans certaines conditions, les réacteurs à eau bouillante sont également sensibles à ce type d'instabilités thermiques et hydrauliques. La conception du système de recirculation du réacteur a des conséquences importantes sur la stabilité du système du réacteur. Quatre systèmes de recirculation différents sont utilisés dans les BWR actuels:

- a) Pompes internes (figure 1a)
- b) Pompes d'injection (figure 1b)
- c) Pompes externes (figure 1c)
- d) Recirculation naturelle (figure 1d)

La réaction neutronique engendrée par la perturbation thermique et hydraulique du canal de combustible local constitue un autre facteur critique pour la stabilité du BWR. Les deux mécanismes de réaction, thermo-hydraulique et neutronique, sont couplés dans le coeur du BWR et peuvent, dans certaines conditions, provoquer des oscillations au niveau du flux dans le coeur, ainsi qu'au niveau de la puissance thermique. De plus, des instabilités peuvent apparaître au niveau du réacteur, même si le mécanisme de réaction en lui-même n'est pas suffisant pour engendrer une instabilité. Les principes physiques relatifs à ce type d'instabilités du BWR sont exposés à l'article 5.

Afin d'identifier les oscillations de flux caractéristiques d'une instabilité thermique et hydraulique, il est possible d'utiliser un système de surveillance du flux de neutrons (signaux APRM et LPRM). Ce système génère un signal de sortie qui peut être utilisé pour des fonctions de suppression automatique. L'annexe A fournit une description succincte de la détection et de la suppression automatiques.

L'annexe B fournit un ensemble d'exemples d'incidents d'instabilité du BWR, survenus au cours des dernières années. Ces cas illustrent l'importance et la nécessité d'une norme concernant la surveillance de la stabilité du BWR.

On dispose actuellement d'une quantité importante d'informations relatives à la stabilité du BWR, dérivées de l'expérience de fonctionnement des BWR. Des essais spécifiques ont été réalisés selon des conditions contrôlées, dans de nombreuses centrales, afin de fournir des informations concernant la réaction individuelle des centrales durant une instabilité et la partie du domaine de fonctionnement la plus sensible aux oscillations pour les conditions de fonctionnement présentes au moment de l'essai. L'annexe C donne des exemples d'essais spécifiques.

L'annexe D décrit, sur un diagramme de puissance, un concept de prévention des instabilités utilisé au Japon et en Allemagne.

L'annexe E fournit un compte rendu des expériences de fonctionnement en matière de surveillance de la stabilité dans différents pays.

L'annexe F donne une estimation des fonctions caractéristiques du bruit neutronique, tandis que l'annexe G fournit une estimation de la différence de phase.

L'annexe H est une bibliographie.

INTRODUCTION

Thermal hydraulic instability is a known phenomenon in conventional steam generators. Two phase flow oscillations in steam generators can result in local channel overheating. This phenomenon and its impact on the design of steam generators is well documented. Under certain conditions boiling water reactors are also susceptible to such thermal hydraulic instabilities. The design of the reactor recirculation system has a large impact on the stability of the reactor system. Four different BWR recirculation systems are used in modern BWRs:

- a) Internal pumps (figure 1a)
- b) Jet pumps (figure 1b)
- c) External pumps (figure 1c)
- d) Natural recirculation (figure 1d)

Another critical factor in BWR stability is the neutronic feedback to the local fuel channel thermal-hydraulic perturbation. The two feedback mechanisms, thermal-hydraulic and neutronic, are coupled in a BWR core and can, under certain conditions, generate oscillations in both core flow and thermal power. In addition, reactor instabilities can occur even when neither feedback mechanism alone is sufficient to generate instability. The physics of such BWR-instabilities are explained with some detail in clause 5.

In order to identify flux oscillations characteristic of a thermal-hydraulic instability, a system that monitors neutron flux (APRM and LPRM signals) can be used. This system generates an output signal which can be used for automatic suppression functions. A short description of automatic detection and suppression is included in annex A.

A short account of examples of BWR instability incidents which have occurred during the last several years is given in annex B. These events illustrate the importance and the need for a standard on stability monitoring of BWR.

A significant amount of information is now available relative to BWR stability from experience at operating BWRs. Special tests have been performed at numerous plants under controlled conditions to provide information on individual plant response during an instability and the portion of the operating domain most susceptible to oscillations for the operating conditions present at the time of the test. Examples of such special tests are given in annex C.

An instability prevention concept is described by the power flow diagram given in annex D, which is used in Japan and Germany.

In annex E an account of operating experience with stability monitoring in different countries is given.

Annex F gives an estimation of neutron noise characteristic functions, while the estimation of phase difference is described in annex G.

Annex H is a bibliography.

INSTRUMENTATION DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES – RÉACTEURS À EAU BOUILLANTE (BWR) – SURVEILLANCE DE LA STABILITÉ

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale s'applique aux réacteurs à eau bouillante (BWR) conçus de manière à garantir l'absence d'oscillations thermiques et hydrauliques, ou à permettre une détection et une suppression fiables et rapides. Le respect de ce critère peut être mis en évidence par:

- a) la prévention de l'apparition des oscillations de puissance;
- b) la détection et la suppression automatiques des oscillations de puissance.

La surveillance de l'état de stabilité du réacteur, qui constitue l'objet de la présente norme, peut assurer les points a) et b) en fournissant des informations sur les caractéristiques de stabilité de la centrale. La surveillance détecte l'approche et l'apparition d'oscillations.

La présente norme a pour but de

- décrire des paramètres de centrale appropriés à l'utilisation de la surveillance de la stabilité;
- définir des méthodes d'analyse permettant d'établir un rapport entre les informations variables en fonction du temps et les facteurs de qualité de stabilité du réacteur, tels que le taux de décroissance;
- fournir des indications techniques concernant les prescriptions fonctionnelles et de performance de la surveillance de stabilité.

Les éléments suivants ne sont pas couverts par la présente norme:

- a) instabilité du système de commande;
- b) recommandations relatives à l'application d'une solution particulière ou d'une combinaison de solutions;
- c) prescriptions concernant les méthodes analytiques associées à chaque méthode;
- d) prescriptions relatives aux actions manuelles de l'opérateur et aux actions automatiques nécessaires pour supprimer les oscillations de puissance ou réduire les taux de décroissance;
- e) influence générale de l'instabilité du réacteur sur le plan de la sûreté.

La présente norme ne traite pas des moniteurs de stabilité de type à prévision (par exemple, modèles dans le domaine fréquentiel pouvant être utilisés en ligne pour calculer le taux de décroissance dans les conditions actuelles du réacteur).

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 en vigueur.

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

NUCLEAR REACTOR INSTRUMENTATION – BOILING WATER REACTORS (BWR) – STABILITY MONITORING

1 Scope and object

This International Standard applies to boiling water reactors (BWR) designed to ensure that thermal-hydraulic oscillations are either not possible, or can be reliably and readily detected and suppressed. Compliance with the criteria can be demonstrated by:

- a) preventing power oscillations;
- b) detecting and automatically suppressing power oscillations.

Monitoring of the reactor stability state, which is the object of this standard, can support a) and b) by providing information on plant stability characteristics. Monitoring will detect the approach to, and occurrence of, oscillations.

The purpose of this standard is to

- describe appropriate plant parameters for use in stability monitoring;
- define analysis methods for relating time-varying plant information to reactor stability figures of merit, such as the decay ratio;
- provide technical guidelines regarding stability monitoring functional and performance requirements.

The following items are not covered by this standard:

- a) control system instability;
- b) recommendations for implementing a particular solution or a combination of solutions;
- c) requirements for analytical methods associated with each method;
- d) requirements for manual operator and automatic actions necessary to suppress power oscillations or reduce decay ratios;
- e) general safety significance of reactor instability.

This standard also does not cover predictor type stability monitors (e.g. frequency domain models which may be used on line to calculate decay ratio for current reactor conditions).

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

CEI 60557:1982, *Terminologie CEI sur les réacteurs nucléaires*

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

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

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

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

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

CEI 61000-4,— *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure*

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

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

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

IEC 60557:1982, *IEC terminology in the nuclear reactor field*

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

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

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

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

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

IEC 61000-4,— *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques*

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

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

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