

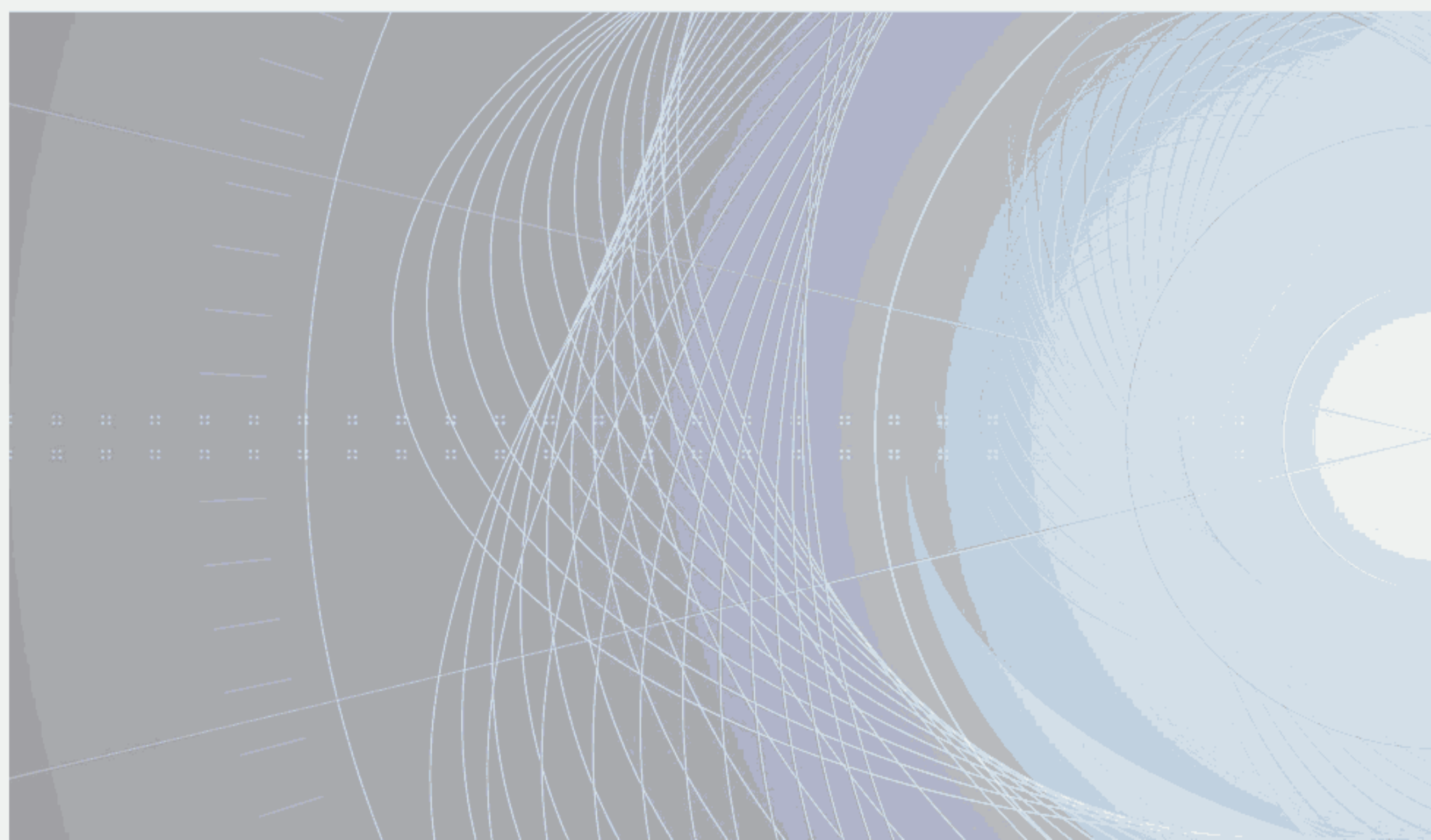
INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Nuclear facilities – Instrumentation important to safety – Spent fuel pool instrumentation

**Installations nucléaires – Instrumentation importante pour la sûreté –
Instrumentation des piscines de refroidissement et de stockage du combustible**





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2021 IEC, Geneva, Switzerland

Copyright © 2021 IEEE

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 being secured. Requests for permission to reproduce should be addressed to either IEC at the address below or IEC's member National Committee in the country of the requester or from IEEE.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
3 Park Avenue
New York, NY 10016-5997
United States of America
stds.ipr@ieee.org
www.ieee.org

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee, ...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

IEC online collection - oc.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 18 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC - webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC online collection - oc.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Nuclear facilities – Instrumentation important to safety – Spent fuel pool instrumentation

Installations nucléaires – Instrumentation importante pour la sûreté – Instrumentation des piscines de refroidissement et de stockage du combustible

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.120.20

IEC ISBN 978-2-8322-9624-0
STD24653 IEEE ISBN 978-1-5044-7489-4

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....4

INTRODUCTION.....6

1 Scope.....9

1.1 General.....9

1.2 Purpose.....9

1.3 Application.....9

2 Normative references.....9

3 Terms and definitions.....10

4 Symbols and abbreviated terms.....12

5 Functional requirements.....12

6 Performance criteria.....14

6.1 Range.....14

6.2 Accuracy.....15

6.2.1 General.....15

6.2.2 Additional criteria for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation.....15

6.3 Response time.....15

6.4 Required accident operating time.....15

6.5 Reliability.....15

6.6 Documentation of performance criteria.....15

6.6.1 General.....15

6.6.2 Additional criteria for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation.....15

7 Design criteria.....16

7.1 Redundancy.....16

7.2 Common cause failure.....16

7.3 Physical independence and separation.....16

7.4 Electrical isolation.....17

7.5 Information ambiguity.....17

7.6 Power supply.....17

7.6.1 General.....17

7.6.2 Additional criteria for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation.....18

7.7 Calibration.....18

7.7.1 General.....18

7.7.2 Additional criteria for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation.....18

7.8 Testability.....18

7.8.1 General.....18

7.8.2 Additional criteria for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation.....18

7.9 Direct measurement.....18

7.10 Control of access.....19

7.11 Maintenance and repair.....19

7.12 Supporting features.....19

8 Qualification criteria.....19

8.1 General.....19

8.2 Seismic qualification.....19

8.3 Environmental qualification.....19

8.4 Shock and vibration qualification.....20

9 Display criteria.....20

9.1	Human factors	20
9.2	Trend or rate information	20
9.3	Continuous versus on-demand displays	20
9.3.1	General	20
9.3.2	Additional criteria for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation	20
9.4	Display identification	20
9.5	Display location	20
9.5.1	General	20
9.5.2	Additional criteria for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation	21
10	Quality assurance	21
Annex A (informative) Typical bases for identifying spent fuel pool conditions to be detected.....		22
Bibliography.....		25
Figure A.1 – Spent fuel pool monitoring instrumentation		22
Table 1 – Relationship of functional groups used in this document.....		14

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

NUCLEAR FACILITIES – INSTRUMENTATION IMPORTANT TO SAFETY – SPENT FUEL POOL INSTRUMENTATION

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of 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, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). 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.

IEEE Standards documents are developed within IEEE Societies and Standards Coordinating Committees of the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board. IEEE develops its standards through a consensus development process, which brings together volunteers representing varied viewpoints and interests to achieve the final product. Volunteers are not necessarily members of IEEE and serve without compensation. While IEEE administers the process and establishes rules to promote fairness in the consensus development process, IEEE does not independently evaluate, test, or verify the accuracy of any of the information contained in its standards. Use of IEEE Standards documents is wholly voluntary. *IEEE documents are made available for use subject to important notices and legal disclaimers (see <http://standards.ieee.org/IPR/disclaimers.html> for more information).*

IEC collaborates closely with IEEE in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.

- 2) The formal decisions of 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 IEC National Committees. The formal decisions of IEEE on technical matters, once consensus within IEEE Societies and Standards Coordinating Committees has been reached, is determined by a balanced ballot of materially interested parties who indicate interest in reviewing the proposed standard. Final approval of the IEEE standards document is given by the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board.
- 3) IEC/IEEE Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees/IEEE Societies in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC/IEEE Publications is accurate, IEC or IEEE cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications (including IEC/IEEE Publications) transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC/IEEE Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC and IEEE do not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC and IEEE are not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or IEEE or their directors, employees, servants or agents including individual experts and members of technical committees and IEC National Committees, or volunteers of IEEE Societies and the Standards Coordinating Committees of the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board, for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC/IEEE Publication or any other IEC or IEEE Publications.
- 8) Attention is drawn to the normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that implementation of this IEC/IEEE Publication may require use of material covered by patent rights. By publication of this standard, no position is taken with respect to the existence or validity of any patent rights in connection therewith. IEC or IEEE shall not be held responsible for identifying Essential Patent Claims for which a license may be required, for conducting inquiries into the legal validity or scope of Patent Claims or determining whether any licensing terms or conditions provided in connection with submission of a Letter of Assurance, if any, or in any licensing agreements are reasonable or non-discriminatory. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any patent rights, and the risk of infringement of such rights, is entirely their own responsibility.
- 10) Decimal separators are symbols used to mark the difference between the whole and the decimal parts of a number. The decimal separator sign in this international standard shall be a comma in all language versions.

International Standard IEC/IEEE 63113 has been prepared by subcommittee 45A: Instrumentation, control and electrical power systems of nuclear facilities, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation, in cooperation with Nuclear Power Engineering Committee of the IEEE, under the IEC/IEEE Dual Logo Agreement.

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

FDIS	Report on voting
45A/1373/FDIS	45A/1382/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.

International standards are drafted in accordance with the rules given in the International Organization for Standardization (ISO) / IEC Directives, Part 2.

The IEC Technical Committee and IEEE Technical Committee have decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

a) Technical background, main issues and organization of the Standard

This IEC/IEEE standard sets out the requirements for instrumentation to monitor spent fuel pool water level and temperature in nuclear facilities as well as radiation monitoring in the vicinity of the pool.

Prior to the accident at Fukushima Daiichi, spent fuel pool monitoring in nuclear power plants was provided mainly to enable operators to monitor pool temperature at a location near the top of the pool. It was also used to determine that the water level remained below the point where flooding of operational areas would be a concern and above the level assumed in safety analyses that evaluated the release of fission products from the pool in the event of a fuel handling accident.

In general, robust spent fuel pools protect the fuel from physical damage and use highly reliable coolant systems that ensure continuous decay heat removal. Monitoring of the pool cooling system and drain taps at the bottom of the pool were considered sufficient to confirm pool cooling under operational states and design basis accidents. Because these are straightforward measurements, neither IEC SC 45A nor IEEE NPEC considered that a standard on this topic was necessary.

During the accident at Fukushima Daiichi, explosions occurred in the reactor buildings of units 1, 3, and 4. Hydrogen release from fuel in the spent fuel pool, due to loss of water inventory, had to be considered as a possible cause of the explosions. Instrumentation suitable for checking this hypothesis was not installed and operators could not directly check pool conditions because of radiation dose rates and other hazards in the reactor buildings. Consequently, plant operators had to take action on the assumption that the spent fuel was no longer fully covered by water.

Eventually, it was confirmed that the many extraordinary actions taken by site personnel succeeded in averting a greater release of radioactive material from the spent fuel pools. Nevertheless, the lack of real time information about pool conditions created significant difficulties in responding to the accidents, increased public anxiety, and diverted resources away from activities to restore core cooling.

Subsequent analysis, however, determined that if the water in the reactor well and dryer-separator pits in Unit 4 had not leaked into the spent fuel pool as water in the pool evaporated, the spent fuel in Unit 4 may have become uncovered. [6], [8] ¹

This experience points to a need to provide plant operators with instrumentation to enable them to understand the state of spent fuel cooling under design extension conditions (DEC). To support the design of such instrumentation, the expected pool conditions must be defined and the instruments should be designed considering any special characteristics needed to ensure their high reliability and operability in the presence of hazards that might exist during design extension conditions.

It is also necessary to monitor spent fuel pools during normal operations in order to: detect a potential loss of heat removal from the pool, detect high pool levels that risk pool overflow, confirm the pool contains sufficient water to shield operators from the radiation from fission products contained in the spent fuel, and ensure safety analysis assumptions are met concerning pool water hold-up of fission products in the event of a fuel handling accident.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

To address the specific lessons learned from the Fukushima Daiichi accident and to give an overall view of the requirements for spent fuel pool monitoring, this document establishes criteria for the performance, design, qualification, display, and quality assurance of instruments for monitoring spent fuel pool conditions during both operational states and accident conditions (including design extension conditions) at nuclear facilities.

b) Situation of the current Standard in the structure of the IEC SC 45A standard series

IEC 63113 is at the third level in the hierarchy of SC 45A standards.

IEC 61513 is the first level standard of SC 45A standards, and provides general requirements for I&C systems and equipment that are used to perform functions important to safety in Nuclear Power Plants (NPPs). IEC/IEEE 60780-323 provides the standard for environmental qualification. IEC 62003 provides the requirements for electromagnetic compatibility testing.

IEC 63147/IEEE Std 497™ provides criteria for accident monitoring instrumentation. IEEE Std 497™ was directly adopted as a joint logo standard and a technical report, IEC TR 63123, was prepared to discuss the application of the joint standard within the IEC context.

The structure of this standard is adapted from the structure of IEC 63147/IEEE Std 497™, and the technical requirements of this standard are consistent with the requirements given in IEC 63147/IEEE Std 497™ together with the application guidance given in IEC TR 63123. This standard deals with instrumentation intended to help plant operators avoid severe accidents in spent fuel pools. The introduction to IEEE Std 497™ notes that design extension conditions that are not severe accidents are not covered by that standard. For more details on the structure of the IEC SC 45A standard series, see item d) of this introduction.

c) Recommendations and limitations regarding the application of the Standard

It is important to note that this standard establishes no additional functional requirements for safety systems.

This standard is directed at facilities in which loss of spent fuel pool inventory makes possible a significant fission product release to the environment. Thus, the standard applies only to spent fuel pools at which the water fill is necessary to prevent a release of fission products that exceeds allowed operational limits.

d) Description of the structure of the IEC SC 45A standard series and relationships with other IEC documents and other bodies' documents (e.g., IAEA, ISO)

The top-level documents of the IEC SC 45A standard series are IEC 61513 and IEC 63046. IEC 61513 provides general requirements for I&C systems and equipment that are used to perform functions important to safety in NPPs. IEC 63046 covers power supply systems including the supply systems of the I&C systems. IEC 61513 and IEC 63046 are to be considered in conjunction and at the same level. IEC 61513 and IEC 63046 structure the IEC SC 45A standard series and shape a complete framework establishing general requirements for instrumentation, control and electrical systems for nuclear power plants.

IEC 61513 and IEC 63046 refer directly to other IEC SC 45A standards for general topics related to categorization of functions and classification of systems, qualification, separation, defence against common cause failure, control room design, electromagnetic compatibility, cybersecurity, software and hardware aspects for programmable digital systems, coordination of safety and security requirements and management of aging. The standards referenced directly at this second level should be considered together with IEC 61513 and IEC 63046 as a consistent document set.

At a third level, IEC SC 45A standards not directly referenced by IEC 61513 or by IEC 63046 are standards related to specific equipment, technical methods, or specific activities. Usually these documents, which make reference to second-level documents for general topics, can be used on their own.

A fourth level extending the IEC SC 45 standard series, corresponds to the Technical Reports, which are not normative.

The IEC SC 45A standards series consistently implements and details the safety and security principles and basic aspects provided in the relevant IAEA safety standards and in the relevant documents of the IAEA nuclear security series (NSS). In particular this includes the IAEA requirements SSR-2/1, establishing safety requirements related to the design of NPPs, the IAEA safety guide SSG-30 dealing with the safety classification of structures, systems and components in NPPs, the IAEA safety guide SSG-39 dealing with the design of instrumentation and control systems for NPPs, the IAEA safety guide SSG-34 dealing with the design of electrical power systems for NPPs and the implementing guide NSS17 for computer security at nuclear facilities. The safety and security terminology and definitions used by SC 45A standards are consistent with those used by the IAEA.

IEC 61513 and IEC 63046 have adopted a presentation format similar to the basic safety publication IEC 61508 with an overall life-cycle framework and a system life-cycle framework. Regarding nuclear safety, IEC 61513 and IEC 63046 provide the interpretation of the general requirements of IEC 61508-1, IEC 61508-2 and IEC 61508-4, for the nuclear application sector. In this framework IEC 60880, IEC 62138 and IEC 62566 correspond to IEC 61508-3 for the nuclear application sector. IEC 61513 and IEC 63046 refer to ISO as well as to IAEA GS-R part 2 and IAEA GS-G-3.1 and IAEA GS-G-3.5 for topics related to quality assurance (QA).

At level 2, regarding nuclear security, IEC 62645 is the entry document for the IEC/SC 45A security standards. It builds upon the valid high level principles and main concepts of the generic security standards, in particular ISO/IEC 27001 and ISO/IEC 27002; it adapts them and completes them to fit the nuclear context and coordinates with the IEC 62443 series. At level 2, IEC 60964 is the entry document for the IEC/SC 45A control rooms standards and IEC 62342 is the entry document for the aging management standards.

NOTE It is assumed that for the design of I&C systems in NPPs that implement conventional safety functions (e.g. to address worker safety, asset protection, chemical hazards, process energy hazards) international or national standards would be applied.

NUCLEAR FACILITIES – INSTRUMENTATION IMPORTANT TO SAFETY – SPENT FUEL POOL INSTRUMENTATION

1 Scope

1.1 General

This document provides criteria for spent fuel pool instrumentation for nuclear power generating stations and other nuclear facilities. The document applies to water filled spent fuel pools where the water volume is necessary to prevent a release of fission products that exceeds allowed operational limits.

1.2 Purpose

The purpose of this document is to establish design, performance, qualification, and display criteria for spent fuel pool instrumentation for normal operation, anticipated operational occurrences, design basis events, and design extension conditions (including severe accident conditions).

1.3 Application

This document applies only to instrumentation for monitoring the condition of the spent fuel pool, i.e., pool level, pool temperature, and area radiation. It does not apply to control systems that are related to the spent fuel pool such as: the pool cooling systems, isolation valve control, crane instrumentation and control, or refuelling machine instrumentation and control.

In some plant designs some of the instruments covered by this document also provide inputs to protection system functions. Such instruments must also comply with requirements for protection systems that are given elsewhere.

The requirements applied to the systems and components performing these functions depend on how they contribute to the safety of the spent fuel pool.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60709:2018, *Nuclear power plants – Instrumentation, control and electrical power systems important to safety – Separation*

IEC/IEEE 60780-323, *Nuclear power plants – Electrical equipment important to safety – Qualification*

IEC/IEEE 60980-344, *Nuclear facilities – Equipment important to safety – Seismic qualification*

IEC 61226, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Classification of instrumentation and control functions*

NOTE 1 The use of IEC 61226 should take account of the discussion given in IEC TR 63123 [19].

IEC 61513, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – General requirements for systems*

IEC 63046, *Nuclear power plants – Electrical power system – General requirements*

IEEE Std 384™-2018, *IEEE Standard Criteria for Independence of Class 1E Equipment and Circuits*

NOTE 2 This document can be used with either IEEE and/or IEC normative references, but one coherent and consistent set of references shall be defined at the beginning of the project and used as a whole as the basis for the design and for all the project.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO, IEC and IEEE maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>
- IEEE Standards Dictionary Online: available at <http://dictionary.ieee.org>

3.1

accident conditions

deviations from normal operation that are less frequent and more severe than anticipated operational occurrences

[SOURCE: IAEA Safety Glossary, 2018 Edition]

3.2

anticipated operational occurrence

deviation of an operational process from normal operation that is expected to occur at least once during the operating lifetime of a facility but which, in the view of appropriate design provisions, does not cause any significant damage to items important to safety or lead to accident conditions

[SOURCE: IAEA Safety Glossary, 2018 Edition]

3.3

common cause failure

failures of two or more structures, systems or components due to a single event or cause

Note 1 to entry: Common causes may be internal or external to an instrumentation and control (I&C) system.

Note 2 to entry: The IEC definition differs from the IAEA in that the term "specific" was deleted because this additional word is not necessary to understand the definition.

[SOURCE: IAEA Safety Glossary, 2018 Edition, modified: see Note 2 to entry.]

3.4

design basis accident

postulated accident leading to accident conditions for which a facility is designed in accordance with established design criteria and conservative methodology, and for which releases of radioactive material are kept within acceptable limits

[SOURCE: IAEA Safety Glossary, 2018 Edition]

3.5

design extension conditions

postulated accident conditions that are not considered for design basis accidents, but that are considered in the design process of the facility in accordance with best estimate methodology, and for which releases of radioactive material are kept within acceptable limits

[SOURCE: IAEA Safety Glossary, 2018 Edition]

3.6

monitoring channel

arrangement of components, from sensors to displays, as required to generate a signal from a plant condition and present the signal to the end user

3.7

operational states

states defined under normal operation and anticipated operational occurrences

Note 1 to entry: Some States and organizations use the term operating conditions (in contrast with accident conditions) for this concept.

[SOURCE: IAEA Safety Glossary, 2018 Edition]

3.8

periodic testing

performance of tests at predetermined time points to demonstrate that the functional capabilities of the I&C systems and equipment important to safety are retained and that the characteristics relevant to the claims of safety analysis are satisfied

[SOURCE: IEC 60671:2007, 3.7]

3.9

pond sludge

undesired debris material that originates from the storage of items in the spent fuel pool

3.10

redundancy

provision of alternative (identical or diverse) structures, systems and components, so that any single structure, system or component can perform the required function regardless of the state of operation or failure of any other

[SOURCE: IAEA Safety Glossary, 2018 Edition]

3.11

response time

period of time necessary for a component to achieve a specified output state from the time that it receives a signal requiring it to assume that output state

[SOURCE: IAEA Safety Glossary, 2018 Edition]

3.12

severe accident

subset of design extension conditions during which fuel damage has occurred

[SOURCE: IEC 63147 / IEEE Std 497™, 3]

3.13

supporting features

systems or components that provide services (such as cooling, lubrication and energy supply) required for the systems to accomplish their intended functions

Note 1 to entry: Some countries use the term "auxiliary features".

4 Symbols and abbreviated terms

AOO	Anticipated Operating Occurrence
CANDU	Canada Deuterium Uranium (Reactor)
CCF	Common Cause Failure
DBA	Design Basis Accident
DEC	Design Extension Conditions
SFP	Spent Fuel Pool

5 Functional requirements

Spent fuel pools within the scope of this document shall be provided with monitoring instrumentation that enables the plant staff to recognize the following conditions.

- a) Thermodynamic conditions in the pool. Pool thermodynamic conditions may be determined by measurement of pool temperature. Higher than normal temperatures may indicate an abnormally high rate of pool water evaporation. Normal temperatures in combination with unexpected loss of inventory may indicate that the pool is leaking.
- b) Maximum water level. Pool inventory has approached the point where there is a risk of water overflowing the top of the pool.
- c) Minimum water level for moving fuel. Pool inventory less than this level would be insufficient to comply with accident analysis assumptions of iodine decontamination factors following a fuel handling accident.
- d) Minimum active cooling water level. Pool inventory has approached the point where there is a risk that operation of the normal fuel pool cooling system cannot be supported.
- e) Minimum shielding water level. Pool inventory has approached the point where the coolant cannot provide substantial shielding for a person standing on the spent fuel pool operating deck.
- f) Top of fuel water level. Pool inventory has reached the point where the fuel remains covered but actions to implement make-up water addition should no longer be deferred.
- g) Air dose rate above the pool. Gamma radiation dose rates in the pool building are at a level that indicates that significant loss of shielding has occurred.

Functional requirements for conditions a), d), e), f) and g) are intended to monitor design extension conditions that do not involve fuel damage. There is reason to believe that information about those conditions will enable the operators to restore pool cooling before fuel in the pool is damaged. Nevertheless, provisions should² also be made to enable the plant staff to recognize the following severe accident conditions:

- h) Fuel damage water level. Pool inventory has approached the point where fuel damage is expected.

² Extending the range of fuel pool water level measurement is necessary only if specific injection modes are needed under the fuel rack level to ensure fuel integrity or to maintain fuel pool tightness in at least one accident scenario (DEC included). Detection of these conditions becomes more important if robust means to provide makeup water to the spent fuel pool have not been separately implemented. For example: portable pumps that are not dependent upon plant power sources for makeup to the SFP and primary and alternative delivery points for makeup water.

- i) Bottom of fuel water level. Pool inventory has reached the point where air cooling is the dominant cooling mechanism for the fuel.

When functions to detect conditions h) or i) are implemented they shall comply with the requirements given in this document.

In this document the term "spent fuel pool monitoring instrumentation" refers to any monitoring instrumentation that is specifically intended to detect one or more of the conditions listed above.

Annex A provides further discussion of conditions a) through i) above and the spent fuel pool monitoring instrumentation functions intended to detect these conditions. It also gives a diagram showing an example of how the measurements might physically relate to each other and the spent fuel pool itself.

The specific values corresponding to the above conditions shall be determined based upon plant-specific design information. Instruments that are intended to detect conditions a), d), e) and f) shall accurately indicate the water level when the water is both below and above its saturation temperature.

Instruments that are intended to detect conditions a), b), and c) are meant for use in plant operational states.

Instruments that are intended to detect conditions a), d), e), f), and g) are meant for use during accident conditions to alert operators to situations that may jeopardize the cooling of spent fuel under DEC.

Instruments that are intended to detect conditions g), h), and i) are meant for use during severe accident conditions to alert the operators to situations that may immediately result in or have already resulted in fuel damage.

A spent fuel pool that contains two or more sections that are connected by normally open gates may be treated as a single spent fuel pool. If the isolable sections of the pool are not used for long-term storage of significant quantities of fuel (as defined by local regulations), sensors for level and temperature monitoring channels shall be located in the main pool. Administrative provisions shall be put into place to ensure that these instruments are operable before pools are isolated from each other.

If, however, the multiple pool sections are normally isolated and used for long-term storage of significant fuel quantities, each section shall be treated as an individual spent fuel pool.

Criteria for spent fuel pool monitoring instrumentation apply to all instruments that are intended to detect conditions a) through i). Additional criteria are given for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation, and these apply only to instruments that are intended to detect conditions a) and d) through i).

The terms used for the different functions and functional groups intended to detect the conditions identified above and their relationship to plant states are shown in Table 1.

Table 1 – Relationship of functional groups used in this document

	Operational states		Accident conditions		
Plant state	Normal operation	Anticipated operational occurrence (AOO)	Design basis accidents (DBA)	Design extension conditions (DEC)	
				DEC without significant fuel degradation	Severe accidents
Conditions	a), b) and c)		see Note 1	a), d), e), f) and g)	g), h) and i)
Terms used for functional groups (see Note 2)	Spent fuel pool monitoring instrumentation				
				DEC spent fuel pool monitoring instrumentation	
	NOTE 1 Typically, there are no DBAs associated with pool water level, temperature and radiation dose rates; therefore, this document does not specify spent fuel pool monitoring instrumentation for DBAs.				
	NOTE 2 One or more monitoring channels make up a functional group of monitoring instrumentation.				

Some facilities also use spent fuel pool monitoring instrumentation to actuate safety systems; actuation of fuel building ventilation systems for example. This document does not provide criteria for the actuation of safety systems. If, however, instruments provided for actuation of safety systems are also used to detect one or more of the conditions above, the instrumentation shall satisfy the requirements of this document as well as all requirements applicable to the safety actuation functions.

6 Performance criteria

6.1 Range

Spent fuel pool level monitoring instrumentation shall cover the full range of levels for the pool from condition b) to condition f) in Clause 5.

If DEC spent fuel pool monitoring instrumentation is provided for conditions h) and i), the range shall be extended to cover the full range of level to condition i).

Spent fuel pool temperature monitoring instrumentation shall cover, with margin, the temperature range from the minimum expected pool temperature up to the spent fuel pool boiling point (e.g., 10 °C to 125 °C), when pool building pressure is at the structure’s maximum design pressure. The temperature measurement locations shall include two points. One point shall be at the minimum active cooling water level (condition d) and another point shall be between the minimum shielding water level (condition e) and the top of the fuel water level (condition f) to provide information for an extended period of time before a significant loss of inventory causes all of the temperature sensors to become uncovered.

Spent fuel pool radiation monitoring instrumentation (condition g) shall cover the range from background levels to 110 % of the calculated maximum dose rate above the pool given the maximum radiological release condition from the pool.

Each spent fuel pool monitoring parameter may be provided by a single instrument, multiple instruments, or multiple technologies. If multiple monitoring channels or technologies are provided to cover the full measurement range, overlap between ranges shall be provided to enable the operator to follow trends throughout the entire range and check consistency of indication in the overlap range.

6.2 Accuracy

6.2.1 General

The accuracy of all spent fuel pool monitoring instrumentation shall be sufficient to enable operators to identify each of the conditions given in Clause 5.

Determination of the accuracy of monitoring channels shall include instrument channel uncertainties and measurement errors caused by the operating environment. The measurement errors might be caused, for example, by changes to the physical characteristics of the coolant, environmental effects or radiological effects.

6.2.2 Additional criteria for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation

DEC spent fuel pool monitoring instrumentation shall, without recalibration, maintain the required accuracy following a power interruption or change of power supplies.

6.3 Response time

Spent fuel pool monitoring instrumentation shall have a response time sufficient to provide timely information to support appropriate actions.

6.4 Required accident operating time

DEC spent fuel pool monitoring instrumentation shall, after the initiation of accident conditions, be capable of operating for a time period that exceeds the duration of the event or a time period that exceeds the time needed to deploy an alternative means for monitoring and placing these means into stable operation.

6.5 Reliability

Where reliability goals have been established for spent fuel pool monitoring instrumentation, appropriate analysis of the design shall be performed to confirm that such goals have been achieved. For additional information on guidance to perform reliability analysis, see IEEE Std 352™, IEC 60812 or IEEE Std 577™.

6.6 Documentation of performance criteria

6.6.1 General

A documented assessment shall be performed for all spent fuel pool monitoring instrumentation to confirm that the as-designed performance meets or exceeds the performance criteria.

6.6.2 Additional criteria for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation

The assessments for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation shall document the magnitude and direction of errors imposed by accident conditions.

7 Design criteria

7.1 Redundancy

At least two channels shall be provided for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation. These monitoring channels may be based upon the same or diverse technology.³

7.2 Common cause failure

DEC spent fuel pool monitoring instrumentation shall be protected against common cause failures resulting from the following:

- The effects of the maximum seismic ground motion considered in the design of the spent fuel pool structure. Qualification requirements are given in 8.1 and 8.2.
- The effects of temperature, humidity, radiation and electromagnetic conditions that are postulated to occur in the vicinity of monitoring channel components under operational states and accident conditions. Qualification requirements are given in 8.1 and 8.3.
- The effect of shock and vibration at the levels postulated in the area of monitoring channel components under accident conditions. Qualification requirements are given in 8.1 and 8.4.
- The effect of pond sludges.⁴

7.3 Physical independence and separation

Redundant spent fuel pool accident monitoring channels shall be physically separated from each other and protected as necessary to ensure that none of the items below will cause the operators to lose information that is intended to alert them to situations that may jeopardize the cooling of spent fuel or that may result in unacceptable fission product release.

- Internal hazards,
- Missiles that may result from natural phenomena identified in the plant's design basis, and
- Missiles that may result from the progression of DEC.

Possible sources of missiles include, for example, debris from damage to structures or components around, above, or within the spent fuel pool.

Examples of arrangements for protecting the spent fuel pool monitoring instrumentation include locating sensors and other equipment:

- On opposite sides of the pool,
- In recesses within the pool,
- In cask decontamination pits,
- Next to or connected to structures that may provide protection against falling debris, such as structural elements or components that become disconnected from their supports due to mechanical shock or fire.

³ In this case, the requirement for redundancy is not related to the potential for random failure of monitoring channels. Instead, the requirement for redundancy is intended to ensure that the operators have necessary information even if mechanical hazards associated with accident conditions disable a single monitoring channel.

⁴ Pond sludges may be a particular issue for certain pools that have been in operation for many decades.

7.4 Electrical isolation

Electrical isolation is used to prevent electrical failures in one system from affecting connected systems or redundant elements within a system. Examples of provisions for electrical isolation include the following: the absence of electronic connections, electronic devices providing isolation, devices providing optical isolation (including optical fibres), relays, a separation distance, internal mechanical structures, or combinations of these features.

Redundant spent fuel pool accident monitoring channels shall be electrically isolated from each other.

The transmission of signals between DEC spent fuel pool monitoring instrumentation and any system not meeting the minimum design requirements for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation shall be through isolation devices.

These isolation devices shall be considered part of the DEC spent fuel pool monitoring instrumentation and shall meet the requirements of this document. No credible failure external to the DEC spent fuel pool monitoring instrumentation shall be transmitted through the isolation device in a way that prevents a spent fuel pool accident monitoring channel from meeting its performance requirements.

A failure of an isolation device is evaluated in the same manner as a failure of other equipment in the DEC spent fuel pool monitoring instrumentation. Isolation devices shall meet the requirements of IEEE Std 384™ or IEC 60709.

7.5 Information ambiguity

The failure of a spent fuel pool accident monitoring channel shall not result in information ambiguity that could lead the accident management personnel to defeat or fail to accomplish a required safety function (e.g., the redundant displays disagree and the accident management personnel cannot readily deduce which monitoring channel has failed). Measures to resolve this ambiguity shall be provided. If measures to resolve this ambiguity cannot be automatically accomplished, additional information shall be provided to enable the accident management personnel to deduce the actual conditions so that they may properly perform their role.

Examples of how this may be accomplished are as follows:

- Having the capability to perturb the measured variable and determine which channel has failed by observing the instrument channel.
- Cross-checking the value with an independent channel that monitors a different variable that bears a known relationship to the instrument channel.
- Providing an additional independent channel of instrumentation.

7.6 Power supply

7.6.1 General

Spent fuel pool monitoring instrumentation power supplies shall be capable of providing power with the necessary voltage and frequency. Power supplies shall be designed to prevent transients that would adversely impact a monitoring channel from performing its required function.

IEC 63046 gives requirements and recommendations for power supplies in general including supplies that support DEC functions. Where safety system power supplies are used, safety standards shall be considered.

7.6.2 Additional criteria for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation

Separate stand-alone power supplies protected from common-cause events shall be available. These stand-alone power supplies shall be in addition to and independent from the design basis power supplies.

The stand-alone power supplies shall be capable of supplying power for the required accident operating time established in accordance with 6.4. If the stand-alone power source uses consumables to provide power, means shall be established to ensure that adequate consumables will be available, e.g., an adequate store of charged batteries or fuel.

If a switch-over between power sources involves a time delay, the time required shall be considered when establishing the action levels for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation discussed in Clause 5.

If portable power sources (e.g., portable generators, portable batteries or replaceable batteries) are used for the stand-alone power supplies, the power sources for redundant monitoring channels shall be stored in separate locations that are accessible to the plant staff.

7.7 Calibration

7.7.1 General

Capability shall be provided for calibration of each spent fuel pool monitoring channel during normal or shutdown operation or both as determined by the required interval between calibrations.

7.7.2 Additional criteria for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation

Means shall be provided for validating the calibration of spent fuel pool accident monitoring channels during the event. One or more of the following may accomplish this:

- Recalibration
- Selection of a calibration interval so that the event duration shall fall within the specified equipment calibration interval
- Selection of equipment that does not require periodic calibration
- Cross-calibration with other channels that bear a known relationship to the information display channel.

7.8 Testability

7.8.1 General

Spent fuel pool monitoring channels shall have provisions for periodic testing of each monitoring channel during operational states. Testing shall follow a pre-defined method and test results shall be documented.

7.8.2 Additional criteria for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation

Capability shall be provided for testing the operability of each spent fuel pool accident monitoring channel during operational states and event conditions.

7.9 Direct measurement

Spent fuel pool monitoring instrumentation shall provide a direct measurement of the required parameter (i.e., level, temperature, or dose rate), as opposed to indirect methods such as a calculation based upon multiple measurements or determination of the value of a parameter based upon measurement of other data with a known relationship to the desired parameter.

8.4 Shock and vibration qualification

DEC spent fuel pool monitoring instrumentation shall be capable of withstanding shock and vibration corresponding to the postulated design basis accident conditions in the component's location. Typically such design basis conditions result from consideration of, for example, explosions at nearby facilities and transportation routes, as well as missiles associated with high winds, tornados, hurricanes, turbine failures, and aircraft crash.

This capability shall be established by one or more of the following methods:

- Including shock and vibration requirements in purchase specifications and purchasing these components from suppliers having quality assurance programs that meet or exceed commercial quality assurance standards;
- Use of components having a substantial history of operational reliability in environments with significant shock and vibration loading; or
- Use of components that are inherently resistant to shock and vibration loadings.

Shock and vibration qualification shall be demonstrated by analysis or test. For additional information on applicable test methods and criteria, see MIL-STD 810 (Methods 514 and 516) or IEC 60068-2-6 and IEC 60068-2-27.

9 Display criteria

9.1 Human factors

The design of spent fuel pool monitoring displays shall be based upon a thorough application of human factors methods and principles.

9.2 Trend or rate information

Trend or rate data capable of providing at least 30 min of spent fuel pool time history shall be provided. The trend or rate information is not required to be a part of the monitoring channels themselves and may be stored on a separate device which is not subject to the requirements of this document.

9.3 Continuous versus on-demand displays

9.3.1 General

The readings from spent fuel pool monitoring channels may be displayed either continually or on-demand.

9.3.2 Additional criteria for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation

The readings from DEC spent fuel pool monitoring instrumentation shall be continuously displayed during the required accident operating time. See 6.4.

9.4 Display identification

DEC spent fuel pool monitoring instrumentation shall be uniquely identified so that the operator can easily discern information intended for use under accident conditions.

9.5 Display location

9.5.1 General

Spent fuel pool monitoring displays shall be located in the main control room. These displays should be in appropriate system or function related locations within the main control room.

The basis for display locations should include functional task analysis results and accepted human factors principles.

9.5.2 Additional criteria for DEC spent fuel pool monitoring instrumentation

At least one spent fuel pool accident monitoring display shall be located outside of the main control room in a weather-protected area that will be accessible during events that may affect the operation of the spent fuel pool, e.g., beyond design basis earthquakes, collapse of the enclosure over the pool, or pool drain down below the level of the stored fuel.

10 Quality assurance

Spent fuel pool monitoring instrumentation shall be designed, manufactured, inspected, installed, operated, and maintained in accordance with a prescribed quality assurance program, that requires:

- Documented requirement specifications,
- Verification and validation that required functions are fulfilled according to the requirement specifications, and
- Configuration management.

For additional information on quality assurance programs, see ASME NQA-1 or IAEA GSR Part 2.

In the IEC domain the system development shall also comply with the general requirements given in IEC 61513, including an analysis of the system's safety classification as described by IEC 61226.

Additional quality assurance and testing should be undertaken for novel or complex designs. For example, safety shall be demonstrated by means of appropriate supporting research programs, performance tests with specific acceptance criteria or the examination of operating experience from other relevant applications. Furthermore, the designs shall be adequately tested before being brought into service and shall be monitored in service to confirm the installed design performs as expected.

The design of spent fuel pool monitoring instrumentation shall be documented in sufficient detail to support the manufacture, installation, commissioning, operation, maintenance, and modification phases of the system.

Before spent fuel pool monitoring instrumentation is released for normal operation, on-site testing shall be performed to confirm that the spent fuel pool monitoring instrumentation together with plant fluid and structural systems achieve the required functionality and performance.

Annex A (informative)

Typical bases for identifying spent fuel pool conditions to be detected

Figure A.1 illustrates the pool conditions to be monitored. Note that relative heights of each level monitoring point will be plant specific and it is possible that some points will not fall in the order given in the text below or shown on Figure A.1.

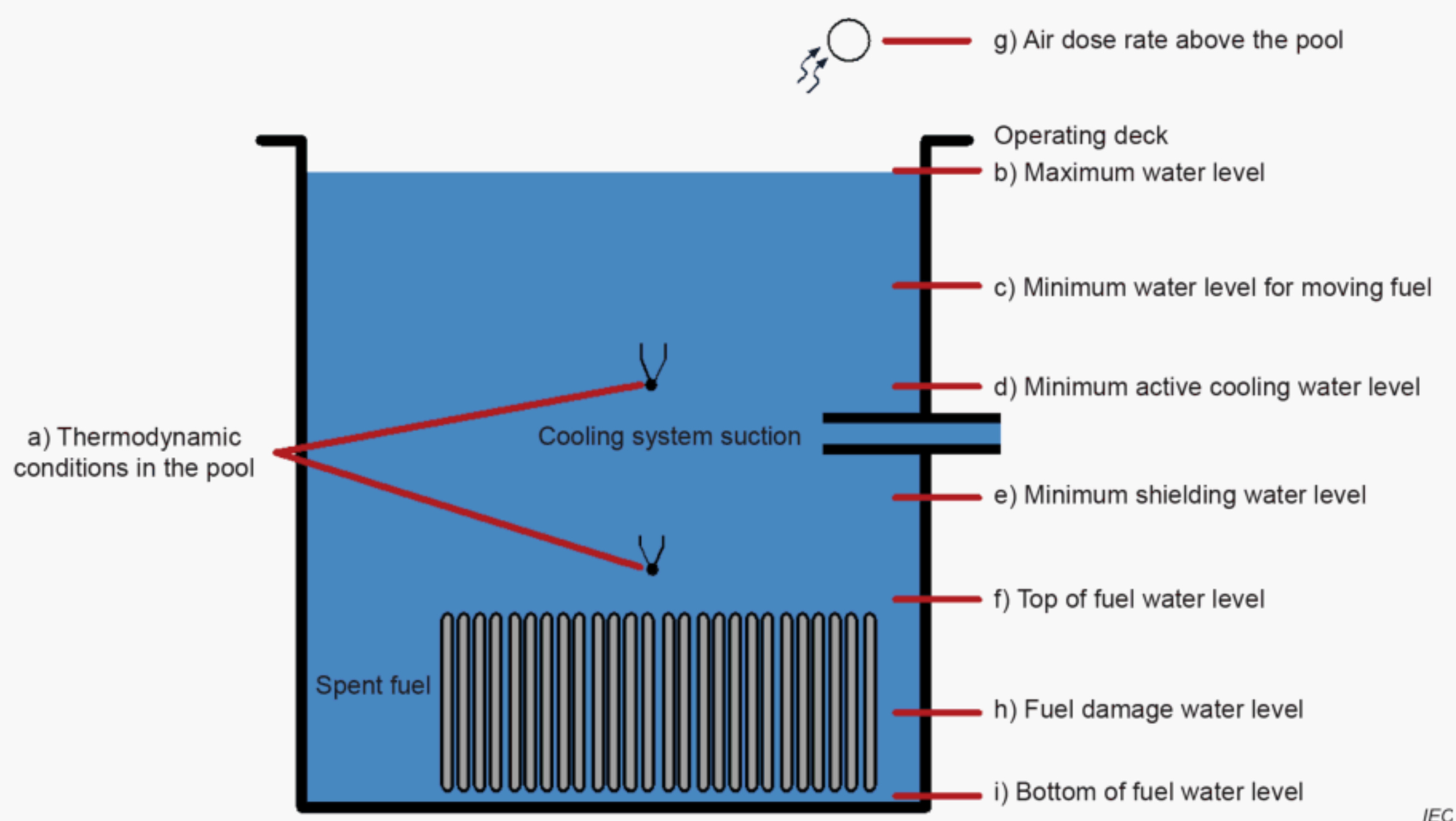


Figure A.1 – Spent fuel pool monitoring instrumentation

This annex describes the spent fuel pool conditions of interest to be monitored by spent fuel pool monitoring instrumentation. These conditions are:

- Thermodynamic conditions in the pool. Pool thermodynamic conditions may be determined by measurement of pool temperature. Higher than normal temperatures may indicate an abnormally high rate of pool water evaporation. Normal temperatures in combination with unexpected loss of inventory may indicate that the pool is leaking.

Spent fuel pool monitoring instrumentation functions provided to detect these conditions are intended to support operators during plant operational states and design extension conditions. In operational states pool temperature is a direct indication of loss of heat removal. During design extension conditions temperature measurement provides an early indication of the possible loss of pool inventory, provides information that operators need to understand the thermodynamic conditions in the pool, and provides a means for determining if reduction in pool level results from evaporation or leakage.

- Maximum water level. Pool inventory has approached the point where there is a risk of water overflowing the top of the pool. This condition will normally be detected by water level monitoring instrumentation. Control of water level at or below this point prevents damage that may be caused by flooding in the structure that houses the spent fuel pool.

Spent fuel pool monitoring instrumentation functions provided to detect this condition are intended to support operators during plant operational states. This condition is normally a point high enough to ensure sufficient water inventory in the pool and low enough to prevent water from sloshing or overflowing out of the pool during operational states or as a result of external events that are included in the plant's design basis.

- c) Minimum water level for moving fuel. Pool inventory has approached the point where compliance with accident analysis assumptions of iodine decontamination factors following a fuel handling accident are not met. This condition will normally be detected by water level monitoring instrumentation. Control of water level above this point is intended to enable fuel movement consistent with safety analysis assumptions. Below this point movement of fuel assemblies in the spent fuel pool shall be immediately suspended and placed in a safe position. Failure to take such action may result in violation of plant operational limits and conditions.

Spent fuel pool monitoring instrumentation functions provided to detect this condition are intended to support operators during operational states. This level will normally be specified in the plant's safety analysis and included in the operational limits and conditions. Some pool segments might not need this measurement.

- d) Minimum active cooling water level. Pool inventory has approached the point where there is a risk that operation of the normal fuel pool cooling system cannot be supported. This condition will normally be detected by water level monitoring instrumentation. Control of water level at or above this point is necessary to ensure continued availability of forced cooling for fuel in the spent fuel pool.

Spent fuel pool monitoring instrumentation functions provided to detect this condition are intended to support operators in preventing fuel damage as a result of design extension conditions. This level may be the higher of the following two points: the level at which the suction line for the spent fuel cooling system becomes uncovered; or the level at which there is insufficient water above the suction line to provide the required net positive suction head for the coolant system pump that draws water from the pool. The determination of this level accounts for hydrodynamic effects (e.g., vortex formation near the suction pipe) and thermodynamic effects (e.g., voiding in the suction line due to steaming in the pool).

- e) Minimum shielding water level. Pool inventory has approached the point where the coolant cannot provide substantial shielding for a person standing on the spent fuel pool operating deck. This condition will normally be detected by water level monitoring instrumentation. Control of water level above this point is important to enable operator access to the spent fuel pool operating deck.

Spent fuel pool monitoring instrumentation functions provided to detect this condition are intended to support operators during design extension conditions by informing them of the radiological hazard present at the spent fuel pool operating deck. This level is normally based upon plant-specific or generic shielding calculations and considers other sources of radiation that may be present in accident conditions and the tasks to be performed by operators under these conditions. Some countries consider three metres above the top of the spent fuel to be an acceptable limit in pools for light water reactor fuel.

- f) Top of fuel water level. Pool inventory has reached the point where the fuel remains covered but actions to implement make-up water addition should no longer be deferred. This condition will normally be detected by water level monitoring instrumentation. Control of water level at or above this point prevents exposure of fuel to air.

Spent fuel pool monitoring instrumentation functions provided to detect this condition are intended to support operators in preventing fuel damage under design extension conditions. This level is normally selected high enough that adequate make-up water or water spray can be provided before the spent fuel becomes uncovered. This level indicates that loss of the fuel cooling safety function in the spent fuel is imminent, thus it is expected that actions to initiate make-up water will start before this level is reached.

- g) Air dose rate above the pool area. This function is intended to give operators an indication of radiation dose rates in the general area around the pool, including contributions from sources and locations other than the pool, to aid in habitability determinations in the event an operator may need to enter the pool area. It is also intended to enable operators to recognize other conditions that may be associated with DEC such as significant loss of shielding, fuel exposure to air, or re-criticality. Under these conditions, personnel should not enter the spent fuel pool or enter the area only for periods less than a specified duration. This condition will normally be detected by radiation monitors.

Spent fuel pool monitoring instrumentation functions provided to detect this condition are intended to support operators in preventing fuel damage under design extension conditions, understanding personnel accessibility to the pool area, and recognizing conditions that might occur during severe accidents. In accident conditions, radiation measurement might:

- indicate loss of shielding from the pool as well as increased radiation that may occur due to manipulation of or damage to components in the pool,
- provide information about the radiation risk that plant personnel will encounter if they attempt to implement countermeasures from the pool operating deck,
- provide an indication that fuel is no longer covered by water, or
- indicate that criticality has occurred.

The range for the instrument will normally be based upon plant-specific or generic shielding calculations and consider other sources of radiation that may be present in accident conditions and the tasks to be performed by operators under these conditions.

- h) Fuel damage water level. Pool inventory has approached the point where fuel damage can be expected. This condition will normally be detected by level monitoring instrumentation. Detection of this condition indicates an immediate need to take actions to prevent radiological consequences or to initiate evacuation. Depending upon the heat energy in the fuel, the fuel racking configuration, and other factors, the time from the point where pool water level drops below the top of the fuel and the point where fission product release begins may be hours to weeks. The ability to identify the point where fission product release is imminent may enable delay of evacuation.

Spent fuel pool monitoring instrumentation functions provided to detect this condition are intended to support operators in mitigating the consequences of a severe accident in a spent fuel pool. This level will normally be the highest point at which mixed steam and air-cooling can cool the fuel. This function does not apply to spent fuel pools in which fuel elements are stored horizontally (CANDU or Advanced Gas Reactors for example).

- i) Bottom of fuel water level. Pool inventory has reached the point where air cooling is the dominant cooling mechanism for the fuel. This condition will normally be detected by level monitoring instrumentation. When spent fuel becomes completely uncovered, air circulation becomes the dominant cooling mechanism. At this level, addition of water may need to be carefully controlled to avoid choking off air circulation, unless water level can be raised rapidly enough to avoid causing more damage. Under these conditions, it may also be necessary to ventilate the fuel building to improve air circulation. This level is intended to support operators in recognizing that specific injection modes may be needed if water is to be added to the pool.

Spent fuel pool monitoring instrumentation functions provided to detect this condition are intended to support operators in mitigating the consequences of severe accidents. This measurement is normally the point at which the water level has dropped below fuel rack base plates enabling natural circulation of air through the spent fuel. This function does not apply to spent fuel pools in which fuel elements are stored horizontally (CANDU or Advanced Gas Reactors for example).

Bibliography

- [1] USNRC:2012, *Official Transcript of Proceedings, Nuclear Regulatory Commission, Advisory Committee on Reactor Safeguards Subcommittee on Fukushima* (June 2012), Washington, DC, ML121850321, <https://www.nrc.gov/docs/ML1218/ML121850321.pdf>
 - [2] USNRC:2012, *Order Modifying Licenses with Regard to Reliable Spent Fuel Instrumentation*, Washington, DC, EA-12-051, ML12056A044, <https://www.nrc.gov/docs/ML1205/ML12056A044.pdf>
 - [3] USNRC:2012, *Interim Staff Guidance, Compliance with Order EA-12-051, Reliable Spent Fuel Pool Instrumentation*, Rev. 0, Washington DC, JLD-ISG-2012-03, ML12221A339, <https://www.nrc.gov/docs/ML1222/ML12221A339.pdf>
 - [4] Nuclear Energy Institute:2012, *Industry Guidance for Compliance with NRC Order EA-12-051, "To Modify Licenses with Regard to Reliable Spent Fuel Pool Instrumentation"* Nuclear Energy Institute, Washington DC, NEI 12-02, ML12240A307, <https://www.nrc.gov/docs/ML1224/ML12240A307.pdf>
 - [5] The National Academies of Sciences:2014, *Lessons Learned from the Fukushima Nuclear Accident for Improving Safety of U.S. Nuclear Plants*, Washington DC, <http://nap.edu/18294>
 - [6] The National Academies of Sciences, 2016, *Lessons Learned from the Fukushima Accident for Improving Safety and Security of U.S. Nuclear Plants: Phase 2*, Washington DC, <http://www.nap.edu/21874>
 - [7] International Atomic Energy Agency, 1999, *Survey of Wet and Dry Spent Fuel Storage*, Vienna, IAEA-TECDOC-1100, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1100_web.pdf
 - [8] IAEA SSR-2/1 Revision 1:2016, *Safety of Nuclear Power Plants: Design*, Vienna, <https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1715web-46541668.pdf>
 - [9] NEA:2015, *Status Report on Spent Fuel Pools under Loss-of-Cooling and Loss-of-Coolant Accident Conditions Final Report*, Paris, NEA/CSNI/R(2015)2, <https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2015/csni-r2015-2.pdf>
 - [10] IEC 63147 (IEEE Std 497™):2017, *Criteria for accident monitoring instrumentation for nuclear power generating stations*, <https://webstore.iec.ch/publication/61009>
- NOTE The use of IEC 63147/IEEE Std 497-2016™ in the IEC domain should take account of the discussion given in IEC TR 63123.
- [11] IEEE Std 497™, 2016, *IEEE Standard Criteria for Accident Monitoring Instrumentation for Nuclear Power Generating Stations*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/7530800>
 - [12] IEEE Std 1023™, 2004, *IEEE Recommended Practice for the Application of Human Factors Engineering to Systems, Equipment, and Facilities of Nuclear Power Generating Stations and Other Nuclear Facilities*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/1440988>
 - [13] USNRC, NUREG-0711, Rev 3, 2012, *Human Factors Engineering Program Review Model*, <https://www.nrc.gov/docs/ML1228/ML12285A131.pdf>
 - [14] USNRC, NUREG-0700, Rev 2, 2002, *Human-Systems Interface Design Review Guidelines*, <https://www.nrc.gov/docs/ML0217/ML021700337.pdf>

- [15] IEC 61227:2008, *Nuclear power plants – Control rooms – Operator controls*, <https://webstore.iec.ch/publication/4942>
 - [16] IEC 61772:2009, *Nuclear power plants – Control rooms – Application of visual display units (VDUs)*, <https://webstore.iec.ch/publication/5874>
 - [17] IEC 61839:2000, *Nuclear power plants – Design of control rooms – Functional analysis and assignment*
 - [18] IAEA GSR Part 2:2016, *Leadership and Management for Safety*, <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1750web.pdf>
 - [19] IEC TR 63123:2017, *Nuclear power plants – Instrumentation, control and electrical power systems – Guidance for the application of IEC 63147:2017/IEEE Std 497™ -2016 in the IAEA/IEC framework*, <https://webstore.iec.ch/publication/60193>
 - [20] IEEE Std 352™:2016, *IEEE Guide for General Principles of Reliability Analysis of Nuclear Power Generating Station Systems and Other Nuclear Facilities*
 - [21] IEC 60812:2018, *Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)*, <https://webstore.iec.ch/searchform&q=60812>
 - [22] IEEE Std 577™:2012, *IEEE Standard Requirements for Reliability Analysis in the Design and Operation of Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/6335435>
 - [23] MIL-STD 810H:2019, *Department of Defense Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests*, United States Department of Defense, https://quicksearch.dla.mil/qsDocDetails.aspx?ident_number=35978
 - [24] IEC 60068-2-6:2007, *Environmental testing – Part 2:Tests –Test Fc: Vibration (sinusoidal)*, <https://webstore.iec.ch/searchform&q=60068-2-6>
 - [25] IEC 60068-2-27:2008, *Environmental testing – Part 2-27: Tests – Test Ea and guidance: Shock*, <https://webstore.iec.ch/searchform&q=60068-2-27>
 - [26] ASME NQA-1: 2019, *Quality Assurance Requirements for Nuclear Facility Applications*, American Society of Mechanical Engineers, <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards?type=Standards&page=1&perPage=25&sortBy=bestselling&sortByDir=desc&designatorCategory=NQA&query=NQA-1>
 - [27] IAEA *Safety Glossary*:2018 Edition, IAEA, Vienna (2019). <https://www.iaea.org/publications/11098/iaea-safety-glossary-2018-edition>
 - [28] IEC 60671:2007, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Surveillance testing*, <https://webstore.iec.ch/searchform&q=60671>
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	30
INTRODUCTION	32
1 Domaine d'application	36
1.1 Généralités	36
1.2 Objet.....	36
1.3 Application	36
2 Références normatives	36
3 Termes et définitions	37
4 Symboles et termes abrégés	39
5 Exigences fonctionnelles	39
6 Critères de performance	41
6.1 Plage	41
6.2 Exactitude	42
6.2.1 Généralités	42
6.2.2 Critères supplémentaires pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC	42
6.3 Temps de réponse	42
6.4 Temps de fonctionnement exigé en conditions accidentelles	42
6.5 Fiabilité.....	42
6.6 Documentation des critères de performance	43
6.6.1 Généralités	43
6.6.2 Critères supplémentaires pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC	43
7 Critères de conception.....	43
7.1 Redondance	43
7.2 Défaillance de cause commune.....	43
7.3 Indépendance et séparation physiques	43
7.4 Isolement électrique.....	44
7.5 Ambiguïté des informations.....	44
7.6 Alimentation.....	45
7.6.1 Généralités	45
7.6.2 Critères supplémentaires pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC	45
7.7 Etalonnage	45
7.7.1 Généralités	45
7.7.2 Critères supplémentaires pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC	45
7.8 Aptitude à l'essai	46
7.8.1 Généralités	46
7.8.2 Critères supplémentaires pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC	46
7.9 Mesure directe	46
7.10 Contrôle d'accès	46
7.11 Entretien et réparation	46
7.12 Fonctions de support	46
8 Critères de qualification.....	46
8.1 Généralités	46

8.2	Qualification sismique	46
8.3	Qualification environnementale	47
8.4	Qualification aux chocs et aux vibrations	47
9	Critères d'affichage	47
9.1	Facteurs humains	47
9.2	Données de tendance ou de débit.....	47
9.3	Affichages continus et à la demande.....	47
9.3.1	Généralités	47
9.3.2	Critères supplémentaires pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC	48
9.4	Identification de l'affichage.....	48
9.5	Emplacement des affichages	48
9.5.1	Généralités	48
9.5.2	Critères supplémentaires pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC	48
10	Assurance qualité	48
Annexe A (informative) Bases types qui permettent d'identifier les conditions des piscines de refroidissement et de stockage du combustible		50
Bibliographie.....		54
Figure A.1 – Instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible.....		50
Tableau 1 – Relation des groupes fonctionnels utilisés dans le présent document		41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

INSTALLATIONS NUCLÉAIRES – INSTRUMENTATION IMPORTANTE POUR LA SÛRETÉ – INSTRUMENTATION DES PISCINES DE REFROIDISSEMENT ET DE STOCKAGE DU COMBUSTIBLE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux.

Les normes de l'IEEE sont élaborées par les Sociétés de l'IEEE, ainsi que par les Comités de coordination des normes du Conseil de normalisation de l'IEEE Standards Association (IEEE-SA). Ces normes sont l'aboutissement d'un consensus, qui rassemble des bénévoles représentant divers points de vue et intérêts. Les participants bénévoles ne sont pas nécessairement membres de l'IEEE et leur intervention n'est pas rétribuée. Si l'IEEE administre le déroulement de cette procédure et définit les règles destinées à favoriser l'équité du consensus, l'IEEE lui-même n'évalue pas, ne teste pas et ne vérifie pas l'exactitude de toute information contenue dans ses normes. L'utilisation de normes de l'IEEE est entièrement volontaire. *Les documents de l'IEEE sont disponibles à des fins d'utilisation, à condition d'être assortis d'avis importants et de clauses de non-responsabilité (voir <http://standards.ieee.org/IPR/disclaimers.html> pour de plus amples informations).*

L'IEC travaille en étroite collaboration avec l'IEEE, selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.

- 2) Les décisions officielles de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études. Une fois le consensus établi entre les Sociétés de l'IEEE et les Comités de coordination des normes, les décisions officielles de l'IEEE relatives aux questions techniques sont déterminées en fonction du vote exprimé par un groupe à la composition équilibrée, composé de parties intéressées qui manifestent leur intérêt pour la révision des normes proposées. L'approbation finale de la norme de l'IEEE est soumise au Conseil de normalisation de l'IEEE Standards Association (IEEE-SA).
- 3) Les Publications IEC/IEEE se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC/Sociétés de l'IEEE. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin de s'assurer de l'exactitude du contenu technique des Publications IEC/IEEE; l'IEC ou l'IEEE ne peuvent pas être tenus responsables de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC (y compris les Publications IEC/IEEE) dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications IEC/IEEE et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC et l'IEEE eux-mêmes ne fournissent aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC et l'IEEE ne sont responsables d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC ou à l'IEEE, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, ou les bénévoles des Sociétés de l'IEEE et des Comités de coordination des normes du Conseil de normalisation de l'IEEE Standards Association (IEEE-SA), pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC/IEEE ou toute autre publication de l'IEC ou de l'IEEE, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.

- 9) L'attention est attirée sur le fait que la mise en application de cette Publication IEC/IEEE peut requérir l'utilisation de matériels protégés par des droits de brevet. En publiant cette norme, aucun parti n'est pris concernant l'existence ou la validité de droits de brevet y afférents. Ni l'IEC ni l'IEEE ne peuvent être tenus d'identifier les revendications de brevet essentielles pour lesquelles une autorisation peut s'avérer nécessaire, d'effectuer des recherches sur la validité juridique ou l'étendue des revendications des brevets, ou de déterminer le caractère raisonnable ou non discriminatoire des termes ou conditions d'autorisation énoncés dans le cadre d'un Certificat d'assurance, lorsque la demande d'un tel certificat a été formulée, ou contenus dans tout accord d'autorisation. Les utilisateurs de cette norme sont expressément informés du fait que la détermination de la validité de tous droits de propriété industrielle, ainsi que les risques qu'implique la violation de ces droits, relèvent entièrement de leur seule responsabilité.
- 10) Les séparateurs décimaux sont des symboles utilisés pour marquer la différence entre la partie entière et la partie décimale d'un nombre. Le séparateur décimal utilisé dans la présente Norme internationale doit être une virgule dans toutes les versions linguistiques.

La Norme internationale IEC/IEEE 63113 a été établie par le sous-comité 45A: Systèmes d'instrumentation, de contrôle-commande et d'alimentation électrique des installations nucléaires, du comité d'études 45 de l'IEC: Instrumentation nucléaire, en coopération avec le "Nuclear Power Engineering Committee" de l'IEEE, selon l'accord double logo IEC/IEEE.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants de l'IEC:

FDIS	Rapport de vote
45A/1373/FDIS	45A/1382/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 Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité d'études de l'IEC et le comité d'études de l'IEEE ont décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

a) Contexte technique, questions principales et structure de la présente norme

La présente norme IEC/IEEE définit les exigences relatives à l'instrumentation utilisée pour surveiller le niveau et la température de l'eau dans les piscines de refroidissement et de stockage du combustible au sein des installations nucléaires, ainsi que pour surveiller le rayonnement à proximité de ces piscines.

Avant l'accident survenu à Fukushima Daiichi, la surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible dans les centrales nucléaires était principalement utilisée pour permettre aux opérateurs de surveiller la température de la piscine en un point proche de la surface. Elle a aussi été utilisée pour déterminer que le niveau d'eau restait inférieur au niveau pour lequel l'inondation des zones opérationnelles posait problème, dans le sens où il était supérieur au niveau prévu dans les analyses de sécurité évaluant le rejet de produits de fission par la piscine en cas d'accident lié à la manutention du combustible.

En général, des piscines de refroidissement et de stockage robustes protègent le combustible contre des dégradations physiques. Les systèmes de refroidissement qui assurent une élimination continue de la chaleur de désintégration présentent un niveau de fiabilité élevé. La surveillance du système de refroidissement de la piscine et des vannes de vidange au fond de celle-ci a été jugée suffisante pour confirmer le refroidissement de l'installation en conditions de fonctionnement et en cas d'accidents de dimensionnement. Comme il s'agit de mesures simples, le SC 45A de l'IEC et le NPEC de l'IEEE n'ont pas estimé qu'une norme sur ce sujet fût nécessaire.

Lors de l'accident de Fukushima Daiichi, des explosions se sont produites dans les bâtiments de réacteur des unités 1, 3 et 4. Le rejet d'hydrogène du combustible présent dans la piscine de refroidissement et de stockage du combustible, provoqué par la baisse du niveau d'eau, a dû être envisagé comme une cause probable des explosions. Une instrumentation appropriée permettant de vérifier cette hypothèse n'était pas installée sur le site et les opérateurs n'ont pas pu vérifier directement les paramètres d'état des piscines en raison des débits de dose de rayonnement et d'autres phénomènes dangereux dans les bâtiments de réacteur. Par conséquent, les opérateurs de la centrale ont dû prendre des mesures reposant sur l'hypothèse que le combustible usé n'était plus entièrement immergé dans l'eau.

Finalement, il a été confirmé que les nombreuses mesures exceptionnelles adoptées par le personnel du site ont permis d'éviter un rejet plus important de matières radioactives par les piscines de refroidissement et de stockage du combustible. Néanmoins, le manque d'informations en temps réel sur les paramètres d'état des piscines a été à l'origine d'importantes difficultés pour réagir à l'accident, a intensifié l'angoisse de la population et a limité les ressources disponibles pour les autres activités de restauration du refroidissement du cœur des réacteurs accidentés.

L'analyse postérieure à cet événement a toutefois permis de déterminer que si l'eau dans le puits du réacteur et les fosses de séparation et d'assèchement de l'unité 4 n'avait pas fui dans la piscine de refroidissement et de stockage du combustible à mesure que l'eau de la piscine s'évaporait, il se peut que le combustible usé stocké dans l'unité 4 ait été dénoyé [6], [8].¹

Ce retour d'expérience met en évidence la nécessité de fournir aux opérateurs de centrale une instrumentation qui leur permette de comprendre la capacité de refroidissement du combustible usé dans les conditions d'extension du dimensionnement (DEC). Afin d'assurer la conception appropriée d'une telle instrumentation, les conditions attendues dans les piscines doivent être définies et il convient de concevoir les instruments en tenant compte de toutes les caractéristiques particulières nécessaires pour assurer leur haute fiabilité et leur aptitude au fonctionnement en présence de phénomènes dangereux qui peuvent exister en conditions d'extension du dimensionnement.

Il est également nécessaire de surveiller les installations de refroidissement du combustible en fonctionnement normal afin de détecter une perte potentielle de l'évacuation de la chaleur de

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

l'installation de refroidissement, des niveaux élevés des capacités d'eau qui risquent de faire déborder la piscine, de confirmer que la piscine contient suffisamment d'eau pour assurer la protection radiologique des opérateurs vis-à-vis des rayonnements émis par les produits de fission contenus dans le combustible usé, et de s'assurer que les hypothèses de l'analyse de sûreté sont respectées en ce qui concerne la rétention des produits de fission dans l'eau de la piscine en cas d'accident lié à la manutention du combustible.

Afin de prendre en compte les enseignements spécifiques tirés de l'accident de Fukushima Daiichi et de donner une vue d'ensemble des exigences relatives à la surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible, le présent document établit des critères concernant la performance, la conception, la qualification, l'affichage et l'assurance qualité des instruments de surveillance des paramètres d'état des piscines de refroidissement et de stockage du combustible, en conditions de fonctionnement comme en conditions accidentelles (y compris en conditions d'extension du dimensionnement) des installations nucléaires.

b) Positionnement de la présente norme dans la structure de la collection de normes du SC 45A de l'IEC

La norme IEC 63113 se situe au troisième niveau de la hiérarchie des normes du SC 45A.

La norme IEC 61513 se situe au premier niveau de la hiérarchie des normes du SC 45A et donne des exigences générales relatives aux systèmes et équipements d'instrumentation et de contrôle-commande (systèmes d'I&C) utilisés pour exécuter des fonctions importantes pour la sûreté des centrales nucléaires de puissance. L'IEC/IEEE 60780-323 constitue la norme en matière de qualification environnementale. L'IEC 62003 établit les exigences relatives aux essais de compatibilité électromagnétique.

L'IEC 63147/IEEE Std 497™ fournit des critères pour l'instrumentation de surveillance des accidents. L'IEEE Std 497™ a été adoptée directement en tant que norme double logo et un rapport technique, l'IEC TR 63123, a été établi pour étudier l'application de la norme commune dans le contexte de l'IEC.

La structure de la présente norme est adaptée de la structure de l'IEC 63147/IEEE Std 497™, et les exigences techniques de la présente norme sont cohérentes avec les exigences énoncées dans l'IEC 63147/IEEE Std 497™ ainsi qu'avec les recommandations d'application données dans l'IEC TR 63123. La présente norme traite de l'instrumentation destinée à aider les opérateurs de centrale à éviter les accidents graves dans les installations de refroidissement du combustible. L'introduction de l'IEEE Std 497™ indique que les conditions d'extension du dimensionnement qui ne sont pas des accidents graves ne sont pas couvertes par la norme. Pour plus d'informations sur la structure de la collection des normes du SC 45A de l'IEC, voir le point d) de la présente introduction.

c) Recommandations et limites relatives à l'application de la présente norme

Il est important de noter que la présente norme n'établit pas d'exigence fonctionnelle supplémentaire pour les systèmes de sûreté. La présente norme concerne les installations dans lesquelles une baisse du niveau d'eau des installations de refroidissement du combustible entraîne la possibilité d'un rejet important de produits de fission dans l'environnement. Ainsi, la norme ne s'applique qu'aux piscines de refroidissement et de stockage du combustible dans lesquelles le remplissage d'eau est nécessaire pour empêcher un rejet de produits de fission supérieur aux limites d'exploitation admises.

d) Description de la structure de la collection des normes du SC 45A de l'IEC et relations avec d'autres documents de l'IEC, et avec les documents d'autres organisations (AIEA, ISO)

Les documents de niveau supérieur de la collection des normes établies par le SC 45A de l'IEC sont les normes IEC 61513 et IEC 63046. La norme IEC 61513 donne des exigences générales relatives aux systèmes et équipements d'instrumentation et de contrôle-commande (systèmes d'I&C) utilisés pour exécuter des fonctions importantes pour la sûreté des centrales nucléaires de puissance. La norme 63046 couvre les systèmes d'alimentation électrique y compris les alimentations des systèmes d'I&C. Les normes IEC 61513 et IEC 63046 doivent être prises en compte ensemble et au même niveau. Les normes IEC 61513 et IEC 63046 structurent la collection de normes du SC 45A de l'IEC et forment un cadre complet qui établit les exigences générales relatives aux systèmes d'I&C et électriques des centrales nucléaires de puissance.

Les normes IEC 61513 et IEC 63046 font directement référence à d'autres normes du SC 45A de l'IEC qui traitent de sujets généraux, tels que la catégorisation des fonctions et le classement des systèmes, la qualification, la séparation des systèmes, la défense contre les défaillances de cause commune, la conception des salles de commande, compatibilité électromagnétique, la cybersécurité, les aspects logiciels et matériels relatifs aux systèmes numériques programmables, la coordination des exigences de sûreté et de sécurité et la gestion du vieillissement. Il convient de considérer que ces normes, auxquelles il est fait référence à ce deuxième niveau, forment, avec les normes IEC 61513 et IEC 63046, un ensemble documentaire cohérent.

Au troisième niveau, les normes du SC 45A de l'IEC, qui ne sont généralement pas citées en référence directement par les normes IEC 61513 ou IEC 63046, traitent de matériels particuliers, de méthodes techniques ou d'activités spécifiques. Généralement ces documents, qui font référence aux documents de deuxième niveau pour les sujets généraux, peuvent être utilisés de façon isolée.

Un quatrième niveau qui est une extension de la collection de normes du SC45A de l'IEC correspond aux rapports techniques qui ne sont pas des documents normatifs.

Les normes de la collection du SC 45A de l'IEC mettent en œuvre de manière systématique et décrivent les principes de sûreté et de sécurité et les aspects fondamentaux donnés dans les normes de sûreté de l'AIEA pertinentes pour les centrales nucléaires de puissance, ainsi que dans les documents pertinents de la collection de l'AIEA pour la sécurité nucléaire de puissance (NSS), en particulier avec le document SSR-2/1 qui établit les exigences de sûreté relatives à la conception des centrales nucléaires de puissance, avec le guide de sûreté SSG-30 qui traite du classement de sûreté des structures, systèmes et composants des centrales nucléaires de puissance, avec le guide de sûreté SSG-39 qui traite de la conception de l'instrumentation et du contrôle commande des centrales nucléaires de puissance, avec le guide de sûreté SSG-34 qui traite de la conception des systèmes d'alimentation électrique des centrales nucléaires de puissance, et avec le guide de mise en œuvre NSS17 qui traite de la sécurité informatique pour les installations nucléaires. La terminologie et les définitions utilisées pour la sûreté et la sécurité dans les normes établies par le SC 45A sont conformes à celles utilisées par l'AIEA.

Les normes IEC 61513 et IEC 63046 ont adopté une présentation similaire à celle de la publication fondamentale de sécurité IEC 61508, avec un cycle de vie d'ensemble et un cycle de vie des systèmes. En ce qui concerne la sûreté nucléaire, les normes IEC 61513 et IEC 63046 donnent l'interprétation des exigences générales des parties 1, 2 et 4 de l'IEC 61508 pour le secteur nucléaire. Dans ce cadre, l'IEC 60880, l'IEC 62138 et l'IEC 62566 correspondent à la partie 3 de l'IEC 61508 pour le secteur nucléaire. Les normes IEC 61513 et IEC 63046 font référence aux normes ISO ainsi qu'aux documents AIEA GS-R partie 2 et AIEA GS-G-3.1 et AIEA GS-G-3.5 pour ce qui concerne l'assurance qualité.

Au second niveau, en ce qui concerne la sûreté nucléaire, la norme IEC 62645 est le document chapeau des normes du SC 45A de l'IEC portant sur la cybersécurité. Elle se fonde sur les principes pertinents de haut niveau et sur les concepts principaux des normes génériques de sûreté, en particulier l'ISO/IEC 27001 et l'ISO/IEC 27002; elle les adapte et les complète pour qu'ils deviennent pertinents pour le secteur nucléaire; elle est coordonnée étroitement avec la norme IEC 62443. Au second niveau, la norme IEC 60964 est le document chapeau des normes du SC 45A de l'IEC applicables aux salles de commande et la norme IEC 62342 est le document chapeau des normes du SC 45A de l'IEC applicables à la gestion du vieillissement.

NOTE On considère que pour la conception des systèmes d'I&C qui mettent en œuvre des fonctions de sûreté conventionnelle (par exemple pour couvrir la sécurité des travailleurs, la protection des biens, la prévention contre les risques chimiques, la prévention contre les risques liés au procédé énergétique), des normes nationales ou internationales sont appliquées.

INSTALLATIONS NUCLÉAIRES – INSTRUMENTATION IMPORTANTE POUR LA SÛRETÉ – INSTRUMENTATION DES PISCINES DE REFROIDISSEMENT ET DE STOCKAGE DU COMBUSTIBLE

1 Domaine d'application

1.1 Généralités

Le présent document définit les critères applicables à l'instrumentation des piscines de refroidissement et de stockage du combustible dans les centrales électronucléaires et autres installations nucléaires. Le présent document s'applique aux piscines de refroidissement et de stockage du combustible remplies d'eau pour lesquelles un certain volume d'eau est nécessaire de manière à éviter un rejet de produits de fission supérieur aux limites d'exploitation admises.

1.2 Objet

Le présent document a pour objet d'établir des critères de conception, de performance, de qualification et d'affichage de l'instrumentation des piscines de refroidissement et de stockage du combustible dans le cadre du fonctionnement normal, des incidents de fonctionnement prévus, des événements de dimensionnement et des conditions d'extension du dimensionnement (y compris les conditions accidentelles graves).

1.3 Application

Le présent document s'applique uniquement à l'instrumentation de surveillance de l'état des piscines de refroidissement et de stockage du combustible, c'est-à-dire du niveau de la piscine, de sa température, et du rayonnement dans cette installation. Elle ne s'applique pas aux systèmes de contrôle-commande reliés à la piscine de refroidissement et de stockage du combustible, tels que les systèmes de refroidissement de la piscine, la commande des vannes d'isolement, l'instrumentation et la commande de moyens de manutention, ou l'instrumentation et la commande des machines de rechargement en combustible.

Dans certaines centrales, certaines des instrumentations couvertes par le présent document fournissent également des informations d'entrée pour les fonctions du système de protection du réacteur. Ces instrumentations doivent également satisfaire aux exigences relatives aux systèmes de protection établies par ailleurs.

Les exigences applicables aux systèmes et aux composants qui remplissent ces fonctions dépendent de leur contribution à la sûreté de la piscine de refroidissement et de stockage du combustible.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60709:2018, *Centrales nucléaires de puissance – Systèmes d'instrumentation, de contrôle-commande et d'alimentation électrique importants pour la sûreté – Séparation*

IEC/IEEE 60780-323, *Installations nucléaires – Equipements électriques importants pour la sûreté – Qualification*

IEC/IEEE 60980-344, *Nuclear facilities – Equipment important to safety – Seismic qualification* (disponible en anglais seulement)

IEC 61226, *Centrales nucléaires de puissance – Systèmes d'instrumentation, de contrôle-commande et d'alimentation électrique importants pour la sûreté – Catégorisation des fonctions et classement des systèmes*

NOTE 1 Il convient que l'utilisation de l'IEC 61226 tienne compte des discussions présentées dans l'IEC TR 63123 [19].

IEC 61513, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Exigences générales pour les systèmes*

IEC 63046, *Centrales nucléaires de puissance – Système d'alimentation électrique – Exigences générales*

IEEE 384™, 2018, *IEEE Standard Criteria for Independence of Class 1E Equipment and Circuits* (disponible en anglais seulement)

NOTE 2 Le présent document peut être utilisé avec soit les références normatives IEEE soit les références normatives IEC, mais un ensemble de références cohérent doit être défini au début du projet et utilisé dans sa totalité comme base de conception et pour l'ensemble du projet.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO, l'IEC et l'IEEE tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>
- IEEE Standards Dictionary Online: disponible à l'adresse <http://dictionary.ieee.org>

3.1

conditions accidentelles

déviations par rapport au fonctionnement normal de l'installation, de fréquence moins élevée et de gravité supérieure aux incidents de fonctionnement prévus

[SOURCE: Glossaire de sûreté de l'AIEA, Edition 2018]

3.2

incident de fonctionnement prévu

dérive de fonctionnement par rapport au fonctionnement normal que l'on s'attend à voir survenir au moins une fois pendant la durée de vie utile d'une installation, mais qui, grâce aux dispositions appropriées prises lors de la conception, ne cause pas de dommage significatif à des systèmes/structures/équipements importants pour la sûreté ou ne conduit à des conditions accidentelles

[SOURCE: Glossaire de sûreté de l'AIEA, Edition 2018]

3.3

défaillance de cause commune

défaillance de plusieurs structures, systèmes ou composants due à un événement ou à une cause unique

Note 1 à l'article: Les causes communes peuvent être internes ou externes au système d'instrumentation et de contrôle-commande (I&C).

Note 2 à l'article: La définition de l'IEC diffère de celle de l'AIEA dans la mesure où le terme "spécifique" a été supprimé car ce mot supplémentaire n'est pas nécessaire pour comprendre la définition.

[SOURCE: Glossaire de sûreté de l'AIEA, Edition 2018, modifiée – voir Note 2 à l'article]

3.4

accident de dimensionnement

conditions ou événements pris en compte lors de la conception de l'installation, prise en compte explicitement dans la conception des structures, systèmes ou équipements de l'installation, à partir de critères préétablis, de sorte que l'installation puisse y résister sans dépassement des limites autorisées

[SOURCE: Glossaire de sûreté de l'AIEA, Edition 2018]

3.5

conditions d'extension du dimensionnement

conditions accidentelles postulées qui ne sont pas prises en compte dans les accidents de dimensionnement, mais qui sont prises en compte dans le processus de conception de l'installation suivant une approche "réaliste", et pour lesquelles le rejet de matières radioactives est maintenu en dessous des limites autorisées

[SOURCE: Glossaire de sûreté de l'AIEA, Edition 2018]

3.6

circuit de surveillance

ensemble interconnecté d'équipements, des capteurs aux écrans, nécessaire pour générer un signal à partir de l'observation d'un paramètre physique de l'installation et transmettre l'information correspondante à l'utilisateur final

3.7

conditions de fonctionnement

conditions rencontrées lors du fonctionnement normal de l'installation et des incidents de fonctionnement prévus

Note 1 à l'article: Certains Etats et organisations utilisent le terme "conditions d'exploitation" (par opposition aux conditions accidentelles) pour désigner ce concept.

[SOURCE: Glossaire de sûreté de l'AIEA, Edition 2018]

3.8

essais périodiques

réalisation d'essais à des instants prédéfinis permettant de démontrer que les exigences fonctionnelles des systèmes et des matériels d'I&C importants pour la sûreté sont assurées et de confirmer que les caractéristiques importantes pour satisfaire aux exigences de l'analyse de sûreté sont satisfaites

[SOURCE: IEC 60671:2007, 3.7]

3.9

boues de bassin d'évacuation

débris indésirables qui proviennent du stockage d'éléments dans la piscine de refroidissement et de stockage du combustible

3.10

redondance

mise en place de structures, systèmes ou composants (identiques ou différents) surnuméraires, afin qu'ils puissent réaliser la fonction requise indépendamment de l'état de fonctionnement ou de défaillance de l'autre élément

[SOURCE: Glossaire de sûreté de l'AIEA, Edition 2018]

3.11

temps de réponse

temps mis par un composant pour atteindre un état de sortie prescrit à compter du moment où il reçoit un signal lui imposant de prendre en compte cet état de sortie

[SOURCE: Glossaire de sûreté de l'AIEA, Edition 2018]

3.12

accident grave

sous-ensemble des conditions d'extension du dimensionnement pour lesquelles un endommagement du combustible s'est produit

[SOURCE: IEC 63147 / IEEE Std 497™, 3]

3.13

fonctions de support

systèmes ou composants qui fournissent les services (tels que le refroidissement, la lubrification et l'alimentation en énergie) nécessaires pour que les systèmes accomplissent leurs fonctions prévues

Note 1 à l'article: Certains pays utilisent le terme "fonctions auxiliaires".

4 Symboles et termes abrégés

IFP	Incident de fonctionnement prévu
CANDU	Canada Deuterium Uranium (réacteur)
DCC	Défaillance de cause commune
DBA	Design Basis Accident (accident de dimensionnement)
DEC	Design Extension Conditions (conditions d'extension du dimensionnement)
SFP	Spent Fuel Pool (piscine de refroidissement et de stockage du combustible)

5 Exigences fonctionnelles

Les piscines de refroidissement et de stockage du combustible comprises dans le domaine d'application du présent document doivent être équipées d'instrumentations de surveillance qui permettent au personnel de la centrale d'identifier les conditions suivantes.

- a) Conditions thermodynamiques dans la piscine. Les conditions thermodynamiques de la piscine peuvent être déterminées en mesurant la température de celle-ci. Des températures supérieures à la normale peuvent indiquer un taux anormalement élevé d'évaporation de l'eau de la piscine. Des températures normales associées à une baisse inattendue du niveau d'eau peuvent indiquer une fuite de la piscine.
- b) Niveau d'eau maximal. Le niveau d'eau de la piscine s'est approché du niveau auquel il existe un risque de débordement de la piscine.
- c) Niveau d'eau minimal pour le déplacement du combustible. Lorsque le niveau d'eau de la piscine est inférieur à ce niveau, il est insuffisant pour satisfaire aux hypothèses de l'analyse des accidents concernant les facteurs de décontamination de l'iode à la suite d'un accident lié à la manutention du combustible.
- d) Niveau d'eau minimal pour le refroidissement actif. Le niveau d'eau de la piscine s'est approché du niveau auquel il existe un risque que le fonctionnement normal du système de refroidissement de la piscine de refroidissement et de stockage du combustible ne puisse plus être assuré.
- e) Niveau d'eau minimal pour la protection radiologique. Le niveau d'eau de la piscine s'est approché du niveau auquel le réfrigérant ne peut plus fournir une protection radiologique suffisante pour une personne qui se trouve dans la zone d'exploitation de la piscine de refroidissement et de stockage du combustible.
- f) Niveau d'eau en haut du combustible. Le niveau d'eau de la piscine a atteint le niveau auquel le combustible reste immergé, mais auquel il convient de ne plus reporter les mesures de ravitaillement en eau d'appoint.
- g) Mesure d'activité au-dessus de la piscine. Les débits de dose de rayonnement gamma dans le bâtiment de la piscine sont à un niveau qui indique une perte importante de la protection radiologique.

Les exigences fonctionnelles des conditions a), d), e), f) et g) sont destinées à la surveillance de l'installation dans les conditions d'extension du dimensionnement qui n'entraînent pas d'endommagement du combustible. Il y a des raisons de croire que ces informations permettront aux opérateurs de restaurer le refroidissement de la piscine avant que le combustible présent dans celle-ci ne soit endommagé. Néanmoins, il convient également de prendre des dispositions² pour permettre au personnel de la centrale de discriminer les conditions accidentelles graves suivantes.

h) Niveau d'eau qui provoque un endommagement du combustible. Le niveau d'eau de la piscine est proche de celui pour lequel un endommagement du combustible est attendu.

i) Niveau d'eau en bas du combustible. Le niveau d'eau de la piscine a atteint le point auquel le refroidissement par air est le mécanisme dominant de refroidissement du combustible.

Lorsque des fonctions qui permettent de détecter des conditions h) ou i) sont mises en œuvre, elles doivent être conformes aux exigences données dans le présent document.

Dans le présent document, le terme "instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible" désigne toute instrumentation de surveillance spécifiquement conçue pour détecter une ou plusieurs des conditions énumérées ci-dessus.

L'Annexe A fournit davantage d'informations sur les conditions a) à i) ci-dessus ainsi que sur les fonctions de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible destinées à détecter ces conditions. Elle contient également un diagramme qui représente un exemple des relations physiques qui peuvent exister entre les différentes mesures et entre les mesures et la piscine de refroidissement et de stockage du combustible.

Les valeurs spécifiques qui correspondent aux conditions ci-dessus doivent être déterminées à partir des informations de conception propres à l'installation nucléaire. Les instruments conçus pour détecter les conditions a), d), e) et f) doivent indiquer avec précision le niveau d'eau lorsque la température de l'eau est inférieure ou supérieure à sa température de saturation.

Les instruments conçus pour détecter les conditions a), b) et c) sont destinés à être utilisés en conditions de fonctionnement de la centrale.

Les instruments conçus pour détecter les conditions a), d), e), f) et g) sont destinés à être utilisés en conditions accidentelles afin d'alerter les opérateurs de situations qui peuvent compromettre le refroidissement du combustible utilisé en DEC.

Les instruments conçus pour détecter les conditions g), h) et i) sont destinés à être utilisés en conditions accidentelles graves afin d'alerter les opérateurs de situations qui peuvent immédiatement provoquer ou qui ont déjà provoqué un endommagement du combustible.

Une piscine de refroidissement et de stockage du combustible qui contient deux sections ou plus qui sont reliées par des portes communément ouvertes peut être traitée comme une piscine unique. Si les sections isolables de la piscine ne sont pas utilisées pour le stockage à long terme de quantités significatives de combustible (comme défini par la réglementation locale), les capteurs des circuits de surveillance du niveau et de la température doivent être situés dans la piscine principale. Des dispositions administratives doivent être mises en place pour s'assurer que ces instruments sont opérationnels avant d'isoler les piscines les unes des autres.

² Etendre la plage de mesure du niveau d'eau de la piscine de refroidissement et de stockage du combustible n'est nécessaire que si des modes d'injection spécifiques sont nécessaires au-dessous du niveau du casier de combustible pour assurer l'intégrité du combustible ou pour maintenir l'étanchéité de la piscine dans au moins un scénario d'accident (y compris les DEC). La détection de ces conditions devient plus importante si des moyens robustes de fourniture de l'eau d'appoint à la piscine n'ont pas été mis en œuvre séparément. Par exemple: pompes portables qui ne dépendent pas des sources d'énergie de la centrale pour l'appoint à la piscine et aux points de livraison primaires et alternatifs dédiés à l'eau d'appoint.

Toutefois, si les multiples sections de la piscine sont communément isolées et utilisées pour le stockage à long terme de quantités significatives de combustible, chaque section doit être traitée comme une piscine individuelle.

Les critères pour l'instrumentation de surveillance de la piscine de refroidissement et de stockage du combustible s'appliquent à tous les instruments conçus pour détecter les conditions a) à i). D'autres critères sont donnés pour l'instrumentation de surveillance de la piscine de refroidissement et de stockage du combustible en DEC; ceux-ci ne s'appliquent qu'aux instruments conçus pour détecter les conditions a) et d) à i).

Les termes utilisés pour les différentes fonctions et les différents groupes fonctionnels destinés à détecter les conditions identifiées ci-dessus et leur relation avec les états de la centrale sont indiqués dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Relation des groupes fonctionnels utilisés dans le présent document

	Conditions de fonctionnement		Conditions accidentelles		
Etat de la centrale	Fonctionnement normal	Incident de fonctionnement prévu (IFP)	Accidents de dimensionnement (DBA)	Conditions d'extension du dimensionnement (DEC)	
				DEC sans dégradation importante du combustible	Accidents graves
Conditions	a), b) et c)		voir Note 1	a), d), e), f) et g)	g), h) et i)
Termes utilisés pour les groupes fonctionnels (voir Note 2)	Instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible			Instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC	
	NOTE 1 En général, il n'existe pas de DBA liés au niveau d'eau de la piscine, à la température ou aux débits de dose de rayonnement; par conséquent, le présent document ne spécifie pas d'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible pour les DBA.				
	NOTE 2 Un ou plusieurs circuits de surveillance forment un groupe fonctionnel d'instrumentation de surveillance.				

Certaines installations utilisent également l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible pour actionner les systèmes de sûreté (pour l'actionnement des systèmes de ventilation du bâtiment qui abrite le combustible, par exemple). Le présent document ne fournit pas de critères pour l'actionnement des systèmes de sûreté. Toutefois, si des instruments prévus pour l'actionnement des systèmes de sûreté sont également utilisés pour détecter une ou plusieurs des conditions ci-dessus, l'instrumentation doit satisfaire aux exigences du présent document ainsi qu'à toutes les exigences applicables aux fonctions d'actionnement de sûreté.

6 Critères de performance

6.1 Plage

L'instrumentation de surveillance du niveau des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doit couvrir toute la plage de niveaux de la piscine, de la condition b) à la condition f) de l'Article 5.

Si l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC est prévue pour les conditions h) et i), la plage doit être étendue de manière à couvrir toute la plage de niveaux jusqu'à la condition i).

L'instrumentation de surveillance de la température des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doit couvrir, avec une marge, la plage de températures allant de la température minimale prévue de la piscine au point d'ébullition de celle-ci (par exemple, de 10 °C à 125 °C), lorsque la pression du bâtiment qui abrite la piscine atteint la pression nominale maximale de la structure. Les emplacements de mesure de la température doivent comporter deux points. Un point doit être situé au niveau d'eau minimal pour le refroidissement actif (condition d) et un autre point doit être situé entre le niveau d'eau minimal pour le blindage (condition e) et le niveau d'eau en haut du combustible (condition f) afin de fournir des informations sur une période prolongée avant qu'une baisse significative du niveau d'eau n'entraîne l'émergence de tous les capteurs de température.

L'instrumentation de surveillance du rayonnement des piscines de refroidissement et de stockage du combustible (condition g) doit couvrir la plage allant du bruit de fond à 110 % du débit de dose maximal calculé au-dessus de la piscine, en tenant compte de la condition maximale de rejet radiologique de la piscine.

Chaque paramètre de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible peut être fourni par un instrument unique, plusieurs instruments ou plusieurs technologies. Si plusieurs circuits ou technologies de surveillance sont prévus pour couvrir l'ensemble de la plage de mesure, des chevauchements entre les plages doivent être prévus pour permettre à l'opérateur de suivre les tendances sur l'ensemble de la plage et de vérifier la cohérence de l'indication dans la plage de chevauchement.

6.2 Exactitude

6.2.1 Généralités

L'exactitude de toute l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doit être suffisante pour permettre aux opérateurs d'identifier chacune des conditions indiquées à l'Article 5.

La détermination de l'exactitude des circuits de surveillance doit inclure les incertitudes des chaînes d'instrumentation et les erreurs de mesure qui résultent de l'environnement d'exploitation. Les erreurs de mesure peuvent résulter, par exemple, de variations des caractéristiques physiques du réfrigérant, d'effets environnementaux ou d'effets radiologiques.

6.2.2 Critères supplémentaires pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC

L'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC doit, sans réétalonnage, conserver l'exactitude exigée après une interruption de l'alimentation ou un changement d'alimentation électrique.

6.3 Temps de réponse

L'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doit assurer un temps de réponse suffisamment court pour fournir des informations en temps opportun en support des actions appropriées.

6.4 Temps de fonctionnement exigé en conditions accidentelles

L'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC doit, après l'apparition de conditions accidentelles, être capable de fonctionner pendant une période supérieure à la durée de la situation ou une période supérieure à la durée nécessaire pour déployer des moyens de surveillance alternatifs et établir un fonctionnement stable de ces moyens.

6.5 Fiabilité

Lorsque des objectifs de fiabilité ont été définis pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible, une analyse appropriée de la conception doit être effectuée afin de confirmer que ces objectifs ont été atteints. Pour plus d'informations concernant les recommandations pour la réalisation de l'analyse de fiabilité, voir l'IEEE Std 352™, l'IEC 60812 ou l'IEEE Std 577™.

6.6 Documentation des critères de performance

6.6.1 Généralités

Une évaluation documentée doit être réalisée pour toute l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible afin de confirmer que la performance remplit ou dépasse les critères de performance prévue à la conception.

6.6.2 Critères supplémentaires pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC

Les évaluations de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC doivent documenter l'ampleur et l'orientation des erreurs impliquées par les conditions accidentelles.

7 Critères de conception

7.1 Redondance

Au moins deux circuits doivent être prévus pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC. Ces circuits de surveillance peuvent reposer sur la même technologie ou sur des technologies différentes³.

7.2 Défaillance de cause commune

L'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC doit être protégée contre les défaillances de cause commune qui résultent des éléments suivants:

- les effets liés au mouvement sismique maximal du sol envisagé pour la conception de la structure de la piscine de refroidissement et de stockage du combustible. Les exigences de qualification sont données en 8.1 et 8.2;
- les effets de la température, de l'humidité, des rayonnements et des conditions électromagnétiques postulés à proximité des composants des circuits de surveillance en conditions de fonctionnement et en conditions accidentelles. Les exigences de qualification sont données en 8.1 et 8.3;
- l'effet des chocs et des vibrations aux niveaux postulés à proximité des composants des circuits de surveillance en conditions accidentelles. Les exigences de qualification sont données en 8.1 et 8.4;
- l'effet des boues de bassin d'évacuation⁴.

7.3 Indépendance et séparation physiques

Les circuits de surveillance redondants valorisés en cas d'accident dans les piscines de refroidissement et de stockage du combustible doivent être physiquement séparés les uns des autres et protégés selon la nécessité afin de s'assurer qu'aucun des éléments ci-dessous ne fasse perdre aux opérateurs les informations qui sont destinées à les alerter de situations qui peuvent compromettre le refroidissement du combustible usé ou qui peuvent entraîner un rejet inacceptable de produits de fission:

- phénomènes dangereux internes;
- projectiles qui peuvent résulter de phénomènes naturels identifiés dans le dimensionnement de la centrale; et
- projectiles qui peuvent résulter de la progression des DEC.

³ Dans ce cas, l'exigence en matière de redondance n'est pas liée au risque de défaillance aléatoire des circuits de surveillance. Au lieu de cela, l'exigence en matière de redondance vise à s'assurer que les opérateurs disposent des informations nécessaires, même si les phénomènes mécaniques dangereux associés aux conditions accidentelles conduisent à la défaillance d'un circuit de surveillance unique.

⁴ L'accumulation de boues de bassin d'évacuation peut être un problème particulier pour certaines piscines en fonctionnement depuis plusieurs dizaines d'années.

Les sources possibles de projectiles incluent, par exemple, les débris qui proviennent de l'endommagement des structures ou des composants situés autour, au-dessus ou à l'intérieur de la piscine de refroidissement et de stockage du combustible.

Les dispositions qui visent à protéger l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible incluent, par exemple, le placement de capteurs et d'autres équipements:

- sur des côtés opposés de la piscine;
- dans des renforcements à l'intérieur de la piscine;
- dans les bassins de décontamination des châteaux de transport;
- à proximité de structures, ou reliés à celles-ci, qui peuvent fournir une protection contre la chute de débris, tels que des éléments structurels ou des composants qui se déconnectent de leur support à la suite d'un choc mécanique ou d'un incendie.

7.4 Isolement électrique

L'isolement électrique permet d'empêcher les défaillances électriques d'un système d'affecter les systèmes connectés ou les éléments redondants d'un même système. Les dispositions relatives à l'isolement électrique incluent, par exemple: l'absence de connexions électroniques, des dispositifs électroniques d'isolement, des dispositifs d'isolement optique (y compris des fibres optiques), des relais, une distance de séparation, des structures mécaniques internes ou une combinaison de ces éléments.

Les circuits de surveillance redondants valorisés en cas d'accident dans les piscines de refroidissement et de stockage du combustible doivent être électriquement isolés les uns des autres.

La transmission de signaux entre l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC et tout système qui ne satisfait pas aux exigences minimales de conception pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC doit s'effectuer par le biais de dispositifs d'isolement.

Ces dispositifs d'isolement doivent être considérés comme faisant partie de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC et doivent satisfaire aux exigences du présent document. Aucune défaillance crédible externe à l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC ne doit être transmise par le biais du dispositif d'isolement de manière à empêcher un circuit de surveillance des accidents des piscines de refroidissement et de stockage du combustible de satisfaire à ses exigences de performance.

Une défaillance d'un dispositif d'isolement est évaluée de la même manière qu'une défaillance d'un autre équipement de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC. Les dispositifs d'isolement doivent satisfaire aux exigences de l'IEEE Std 384™ ou de l'IEC 60709.

7.5 Ambiguïté des informations

La défaillance d'un circuit de surveillance des accidents des piscines de refroidissement et de stockage du combustible ne doit pas entraîner une ambiguïté des informations susceptible de conduire le personnel de gestion des accidents à ne pas remplir une fonction de sûreté exigée (par exemple, des affichages redondants discordants peuvent conduire le personnel de gestion des accidents à ne pas discriminer facilement le circuit de surveillance défaillant). Des mesures qui visent à résoudre cette ambiguïté doivent être fournies. Si des mesures qui visent à résoudre cette ambiguïté ne peuvent être prises automatiquement, des informations supplémentaires doivent être fournies pour permettre au personnel de gestion des accidents de déterminer les conditions réelles de manière à pouvoir remplir correctement son rôle.

Cela peut par exemple être réalisé comme suit:

- en ayant la capacité de perturber la variable mesurée et de discriminer le circuit défaillant en observant la chaîne d'instrumentation;

- par vérification croisée de la valeur avec un canal indépendant qui surveille une variable différente qui présente une relation connue avec le circuit d'instrumentation;
- en prévoyant une chaîne d'instrumentation indépendante supplémentaire.

7.6 Alimentation

7.6.1 Généralités

Les alimentations électriques de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doivent être capables de fournir de l'énergie avec la tension et la fréquence nécessaires. Les alimentations électriques doivent être conçues de manière à empêcher les transitoires qui auraient un impact négatif sur un circuit de surveillance en ce qui concerne la réalisation de sa fonction exigée.

L'IEC 63046 fournit des exigences et des recommandations concernant les alimentations électriques en général, y compris les alimentations de support des fonctions en DEC. Lorsque des alimentations électriques de systèmes de sûreté sont utilisées, les normes de sûreté doivent être prises en compte.

7.6.2 Critères supplémentaires pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC

Des alimentations électriques autonomes et séparées, protégées contre les événements de cause commune, doivent être disponibles. Ces alimentations électriques autonomes doivent s'ajouter aux alimentations électriques du dimensionnement et être indépendantes de celles-ci.

Les alimentations autonomes doivent être capables de fournir de l'énergie pendant le temps de fonctionnement exigé en conditions accidentelles, conformément au 6.4. Si la source d'énergie autonome utilise des matières consommables pour fournir de l'énergie, des moyens doivent être mis en place pour s'assurer que les consommables adéquats sont disponibles, par exemple un stock suffisant de batteries chargées ou de combustible.

Si le passage d'une source d'énergie à une autre implique un retard, le temps nécessaire doit être pris en compte lors de l'établissement des niveaux d'action pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC (voir Article 5).

Si des sources d'énergie portables (par exemple, des générateurs portables, des batteries portables ou des batteries remplaçables) sont utilisées pour les alimentations électriques autonomes, les sources d'énergie des circuits de surveillance redondants doivent être stockées dans des locaux séparés accessibles au personnel de la centrale.

7.7 Etalonnage

7.7.1 Généralités

La capacité d'étalonner chaque circuit de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doit être fournie, en fonctionnement normal ou à l'arrêt, ou les deux, selon l'intervalle exigé entre deux étalonnages successifs.

7.7.2 Critères supplémentaires pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC

Des moyens doivent être prévus pour valider l'étalonnage des circuits de surveillance des accidents des piscines de refroidissement et de stockage du combustible pendant l'événement. Un ou plusieurs des éléments suivants peuvent permettre cette validation:

- réétalonnage;
- choix d'un intervalle d'étalonnage tel que la durée de l'événement doit être comprise dans l'intervalle d'étalonnage de l'équipement spécifié;
- choix d'équipements qui ne nécessitent pas d'étalonnage périodique;
- étalonnage croisé avec d'autres canaux qui présentent une relation connue avec le circuit d'affichage des informations.

7.8 Aptitude à l'essai

7.8.1 Généralités

Les circuits de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doivent comporter des dispositions qui permettent de réaliser les essais périodiques de chaque circuit de surveillance en conditions de fonctionnement. Les essais doivent suivre une méthode prédéfinie et les résultats d'essai doivent être documentés.

7.8.2 Critères supplémentaires pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC

La capacité de soumettre à l'essai l'aptitude au fonctionnement de chaque circuit de surveillance des accidents des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doit être fournie, en conditions de fonctionnement et lors d'événements.

7.9 Mesure directe

L'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doit fournir une mesure directe du paramètre exigé (à savoir le niveau, la température ou le débit de dose), par opposition aux méthodes indirectes telles qu'un calcul qui repose sur plusieurs mesures ou que la détermination de la valeur d'un paramètre fondée sur la mesure d'autres données qui présentent une relation connue avec le paramètre souhaité.

7.10 Contrôle d'accès

La conception des circuits de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doit prévoir un accès limité du personnel non autorisé aux réglages d'étalonnage, aux points d'essai et aux commandes de mise hors service des circuits de surveillance. Le contrôle d'accès peut être assuré par des moyens administratifs.

7.11 Entretien et réparation

La conception des circuits de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doit faciliter l'entretien, le dépannage et la réparation.

7.12 Fonctions de support

Les fonctions de support de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC doivent satisfaire aux exigences du circuit de surveillance.

8 Critères de qualification

8.1 Généralités

L'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC et ses alimentations électriques doivent être qualifiées sur le plan sismique et environnemental conformément aux exigences de l'IEC/IEEE 60780-323.

Les performances exigées des instruments, en particulier l'exactitude, le temps de réponse et, le cas échéant, le temps de fonctionnement exigé en conditions accidentelles, doivent être spécifiées pour chaque situation postulée, par exemple en conditions de fonctionnement, en conditions d'extension du dimensionnement sans endommagement du combustible et lors d'accidents graves.

8.2 Qualification sismique

La qualification sismique doit démontrer l'intégrité structurelle et l'aptitude à la fonction continue des instruments de surveillance des accidents des piscines de refroidissement et de stockage du combustible. Les effets du mouvement du sol et les charges hydrodynamiques associées (qui proviennent d'un ballonnement dans la piscine, par exemple) pris en compte dans la conception de la structure du combustible utilisé doivent être pris en compte dans cette qualification. La qualification doit être démontrée conformément à l'IEC/IEEE 60980-344.

Les instruments de surveillance des accidents des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doivent être en mesure de satisfaire à leurs exigences fonctionnelles de conception à la suite d'un événement sismique.

Les instruments de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC qui sont installés à l'intérieur de la piscine doivent être placés de manière à ne pas être soumis, lors d'événements sismiques, à des interactions négatives avec des composants ou d'autres matériels qui peuvent être stockés dans la piscine.

8.3 Qualification environnementale

Les conditions de service pour la qualification de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC doivent inclure une température, une humidité, un rayonnement et des conditions électromagnétiques qui correspondent aux conditions de saturation dans la piscine et aux conditions de rayonnement qui existeraient en cas d'émergence du combustible.

Les instruments de surveillance des accidents des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doivent être en mesure de satisfaire à leurs exigences fonctionnelles de conception pendant et après les expositions environnementales postulées.

8.4 Qualification aux chocs et aux vibrations

L'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC doit être capable de résister aux chocs et aux vibrations qui correspondent aux conditions accidentelles de dimensionnement postulées à l'emplacement du composant. En général, ces conditions de dimensionnement résultent de la prise en compte, par exemple, des explosions dans les installations et les voies de transport proches, ainsi que des projectiles associés à des vents violents, des tornades, des ouragans, des pannes de turbine et des chutes d'avion.

Cette capacité doit être établie par une ou plusieurs des méthodes suivantes:

- inclure les exigences relatives aux chocs et aux vibrations dans les spécifications d'achat et acheter ces composants auprès de fournisseurs qui disposent de programmes d'assurance qualité qui respectent ou dépassent les normes commerciales d'assurance qualité;
- utiliser des composants qui présentent un historique de fiabilité opérationnelle conséquent dans des environnements soumis à des chocs et des vibrations importants; ou
- utiliser des composants qui sont intrinsèquement résistants aux chocs et aux vibrations.

La qualification aux chocs et aux vibrations doit être démontrée par analyse ou par essai. Pour plus d'informations concernant les méthodes d'essai et les critères applicables, voir la norme MIL-STD 810 (méthodes 514 et 516) ou l'IEC 60068-2-6 et l'IEC 60068-2-27.

9 Critères d'affichage

9.1 Facteurs humains

La conception des affichages de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doit reposer sur une application approfondie des méthodes et principes relatifs aux facteurs humains.

9.2 Données de tendance ou de débit

Des données de tendance ou de débit en mesure de couvrir au moins 30 min d'historique de la piscine de refroidissement et de stockage du combustible doivent être fournies. Il n'est pas nécessaire que ces données de tendance ou de débit proviennent des circuits de surveillance proprement dits; elles peuvent être stockées sur un dispositif distinct non soumis aux exigences du présent document.

9.3 Affichages continus et à la demande

9.3.1 Généralités

Les lectures des paramètres en provenance des circuits de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible peuvent être affichées soit en continu soit à la demande.

9.3.2 Critères supplémentaires pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC

Les lectures des paramètres en provenance de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC doivent être affichées en continu pendant le temps de fonctionnement exigé en conditions accidentelles. Voir 6.4.

9.4 Identification de l'affichage

L'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC doit être identifiée de manière unique afin que l'opérateur puisse facilement discerner les informations destinées à être utilisées en conditions accidentelles.

9.5 Emplacement des affichages

9.5.1 Généralités

Les affichages des paramètres de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doivent être situés dans la salle de commande principale. Il convient que ces affichages se trouvent dans des endroits appropriés liés au système ou à la fonction au sein de la salle de commande principale.

Il convient que les emplacements des affichages soient fondés notamment sur les résultats de l'analyse des tâches fonctionnelles et sur les principes reconnus concernant les facteurs humains.

9.5.2 Critères supplémentaires pour l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible en DEC

Au moins un moyen d'affichage des paramètres de surveillance des accidents des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doit être situé à l'extérieur de la salle de commande principale, dans une zone protégée des intempéries et accessible lors d'événements qui peuvent compromettre le fonctionnement de la piscine, par exemple en cas de tremblement de terre hors dimensionnement, d'effondrement de l'enceinte au-dessus de la piscine ou de vidange de la piscine au-dessous du niveau du combustible stocké.

10 Assurance qualité

L'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doit être conçue, fabriquée, examinée, installée, mise en fonctionnement et entretenue conformément à un programme d'assurance qualité prévu, qui exige:

- des spécifications d'exigences documentées;
- la vérification et la validation que les fonctions exigées sont remplies conformément aux spécifications d'exigences; et
- la gestion des configurations.

Pour plus d'informations concernant les programmes d'assurance qualité, voir la norme ASME NQA-1 ou la norme AIEA GSR Partie 2.

Dans le domaine de l'IEC, le développement du système doit également satisfaire aux exigences générales indiquées dans l'IEC 61513, ainsi qu'à une analyse du classement de sûreté du système, décrite dans l'IEC 61226.

Il convient de mettre en place une assurance qualité et des essais supplémentaires pour les nouvelles conceptions ou les conceptions complexes. Par exemple, la sûreté doit être démontrée au moyen de programmes de recherche d'appui appropriés, d'essais de performance avec des critères d'acceptation spécifiques, ou de l'examen de l'expérience opérationnelle d'autres applications pertinentes. En outre, les conceptions doivent être soumises à l'essai de manière adéquate avant d'être mises en service et doivent être surveillées en service afin de confirmer que la conception installée fonctionne comme prévu.

La conception de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible doit être documentée de manière suffisamment détaillée pour couvrir les phases de fabrication, d'installation, de mise en service, d'exploitation, de maintenance et de modification du système.

Avant la mise en fonctionnement normal de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible, des essais sur site doivent être effectués afin de confirmer que l'instrumentation de surveillance de la piscine ainsi que les systèmes de fluides et les systèmes structurels de la centrale satisfont à la fonctionnalité et aux performances exigées.

Annexe A (informative)

Bases types qui permettent d'identifier les conditions des piscines de refroidissement et de stockage du combustible à détecter

La Figure A.1 indique les conditions des piscines à surveiller. Noter que les hauteurs relatives de chaque point de surveillance du niveau sont spécifiques à la centrale et qu'il est possible que certains points ne correspondent pas aux indications du texte ci-dessous ou de la Figure A.1.

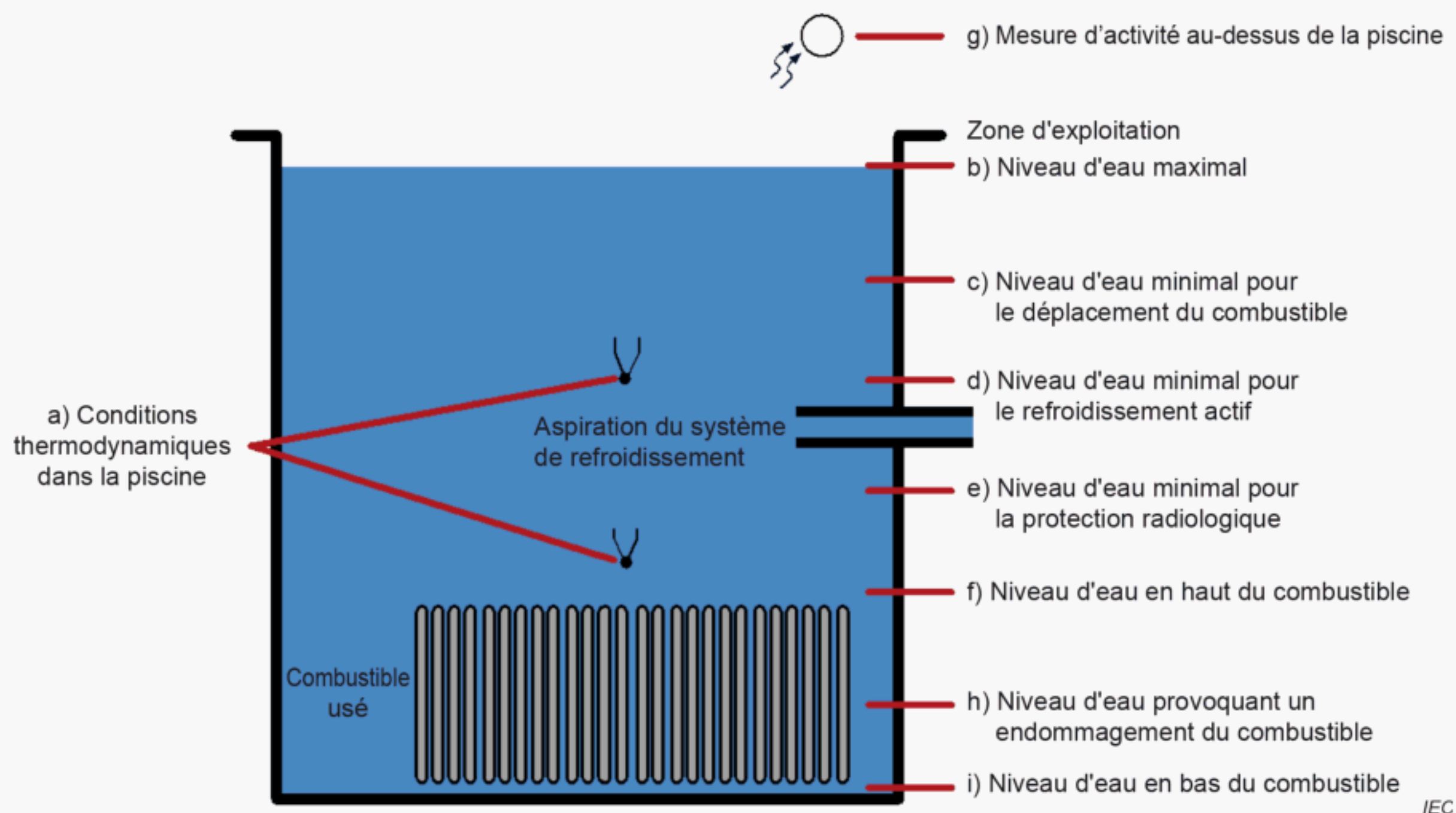


Figure A.1 – Instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible

La présente annexe décrit les conditions des piscines de refroidissement et de stockage du combustible qui doivent être surveillées par l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible. Ces conditions sont les suivantes.

- a) Conditions thermodynamiques dans la piscine. Les conditions thermodynamiques de la piscine peuvent être déterminées en mesurant la température de celle-ci. Des températures supérieures à la normale peuvent indiquer un taux anormalement élevé d'évaporation de l'eau de la piscine. Des températures normales associées à une baisse inattendue du niveau d'eau peuvent indiquer une fuite de la piscine.

Les fonctions de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible prévues pour détecter ces conditions sont destinées à assister les opérateurs en conditions de fonctionnement de la centrale et en conditions d'extension du dimensionnement. Dans les conditions de fonctionnement, la température de la piscine est une indication directe de perte de l'évacuation de la chaleur. En conditions d'extension du dimensionnement, la mesure de la température donne une indication rapide de la baisse éventuelle du niveau d'eau de la piscine, fournit des informations nécessaires aux opérateurs pour comprendre les conditions thermodynamiques de la piscine, et permet de déterminer si la baisse du niveau de la piscine résulte d'une évaporation ou d'une fuite.

- b) Niveau d'eau maximal. Le niveau d'eau de la piscine s'est approché du niveau auquel il existe un risque de débordement de la piscine. Cette condition est normalement détectée par l'instrumentation de surveillance du niveau d'eau. Le contrôle du niveau d'eau en ce point ou au-dessous de celui-ci permet d'éviter les dommages qui peuvent être provoqués

par l'inondation de la structure qui abrite la piscine de refroidissement et de stockage du combustible.

Les fonctions de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible prévues pour détecter cette condition sont destinées à assister les opérateurs en conditions de fonctionnement de la centrale. Cette condition correspond normalement à un point suffisamment haut pour assurer un niveau d'eau suffisant dans la piscine et suffisamment bas pour empêcher l'eau de balloter ou de déborder de la piscine en conditions de fonctionnement ou à la suite d'événements externes inclus dans le dimensionnement de la centrale.

- c) Niveau d'eau minimal pour le déplacement du combustible. Le niveau d'eau de la piscine s'est approché du niveau auquel la conformité aux hypothèses de l'analyse des accidents concernant les facteurs de décontamination de l'iode à la suite d'un accident lié à la manutention du combustible n'est plus respectée. Cette condition est normalement détectée par l'instrumentation de surveillance du niveau d'eau. Le contrôle du niveau d'eau au-dessus de ce point vise à permettre un mouvement du combustible conforme aux hypothèses de l'analyse de sûreté. Au-dessous de ce point, le mouvement des assemblages de combustible dans la piscine de refroidissement et de stockage du combustible doit être immédiatement interrompu et ils doivent être maintenus dans une position sûre. Le non-respect de ces mesures peut entraîner une violation des limites et conditions d'exploitation de la centrale.

Les fonctions de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible prévues pour détecter cette condition sont destinées à assister les opérateurs en conditions de fonctionnement. Ce niveau est normalement spécifié dans l'analyse de sûreté de la centrale et inclus dans les limites et conditions d'exploitation. Certains segments de la piscine peuvent ne pas nécessiter cette mesure.

- d) Niveau d'eau minimal pour le refroidissement actif. Le niveau d'eau de la piscine s'est approché du niveau auquel il existe un risque que le fonctionnement normal du système de refroidissement de la piscine de refroidissement et de stockage du combustible ne puisse plus être assuré. Cette condition est normalement détectée par l'instrumentation de surveillance du niveau d'eau. Le contrôle du niveau d'eau en ce point ou au-dessus de celui-ci est nécessaire pour assurer une disponibilité continue du refroidissement forcé du combustible dans la piscine de refroidissement et de stockage du combustible.

Les fonctions de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible prévues pour détecter cette condition sont destinées à permettre aux opérateurs d'empêcher l'endommagement du combustible provoqué par les conditions d'extension du dimensionnement. Ce niveau peut être le plus élevé des deux points suivants: le niveau auquel la conduite d'aspiration du système de refroidissement du combustible usé émerge; ou le niveau auquel il n'y a plus assez d'eau au-dessus de la conduite d'aspiration pour fournir la charge nette absolue à l'aspiration exigée pour la pompe du système de refroidissement qui aspire l'eau de la piscine. La détermination de ce niveau tient compte des effets hydrodynamiques (par exemple, formation d'un vortex à proximité du tuyau d'aspiration) et des effets thermodynamiques (par exemple, expulsion du caloporteur dans la conduite d'aspiration du fait de vapeur dans la piscine).

- e) Niveau d'eau minimal pour la protection radiologique. Le niveau d'eau de la piscine s'est approché du niveau auquel le réfrigérant ne peut plus fournir une protection radiologique suffisante pour une personne qui se trouve dans la zone d'exploitation de la piscine de refroidissement et de stockage du combustible. Cette condition est normalement détectée par l'instrumentation de surveillance du niveau d'eau. Le contrôle du niveau d'eau au-dessus de ce point est important pour permettre à l'opérateur d'accéder à la zone d'exploitation de la piscine de refroidissement et de stockage du combustible.

Les fonctions de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible prévues pour détecter cette condition sont destinées à assister les opérateurs en conditions d'extension du dimensionnement en les informant du phénomène radiologique dangereux présent dans la zone d'exploitation de la piscine de refroidissement et de stockage du combustible. Ce niveau est normalement fondé sur des calculs de protection radiologique spécifiques à la centrale ou génériques et tient compte des autres sources de rayonnement qui peuvent être présentes en conditions accidentelles ainsi que des tâches qui doivent être accomplies par les opérateurs dans ces conditions. Certains pays considèrent que trois mètres au-dessus du sommet du combustible usé sont une limite acceptable dans les piscines de refroidissement et de stockage du combustible des réacteurs à eau légère.

- f) Niveau d'eau en haut du combustible. Le niveau d'eau de la piscine a atteint le niveau auquel le combustible reste immergé, mais auquel il convient de ne plus reporter les mesures de ravitaillement en eau d'appoint. Cette condition est normalement détectée par l'instrumentation de surveillance du niveau d'eau. Le contrôle du niveau d'eau en ce point ou au-dessus permet d'empêcher l'exposition du combustible à l'air.

Les fonctions de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible prévues pour détecter cette condition sont destinées à permettre aux opérateurs d'empêcher l'endommagement du combustible en conditions d'extension du dimensionnement. Ce niveau est normalement assez haut pour pouvoir fournir une eau d'appoint ou une pulvérisation d'eau adéquate avant l'émergence du combustible usé. Ce niveau indique que la perte de la fonction de sûreté de refroidissement du combustible pour le combustible usé est imminente; il est donc prévu que les mesures de ravitaillement en eau d'appoint commencent avant que ce niveau ne soit atteint.

- g) Mesure d'activité au-dessus de la piscine. Cette fonction vise à fournir aux opérateurs une indication des débits de dose de rayonnement dans la zone générale autour de la piscine, y compris les contributions des sources et des emplacements autres que la piscine, afin d'aider à déterminer l'habitabilité au cas où il peut être nécessaire qu'un opérateur pénètre dans la zone de la piscine. Elle est également destinée à permettre aux opérateurs de reconnaître d'autres conditions qui peuvent être associées aux DEC, telles qu'une perte importante de protection radiologique, une exposition du combustible à l'air ou une recriticité. Dans ces conditions, il convient que le personnel ne pénètre pas dans la piscine de refroidissement et de stockage du combustible, ou qu'il pénètre dans la zone uniquement pendant une période inférieure à une durée spécifiée. Cette condition est normalement détectée par les moniteurs de rayonnement.

Les fonctions de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible prévues pour détecter cette condition sont destinées à permettre aux opérateurs d'empêcher l'endommagement du combustible en conditions d'extension du dimensionnement, de comprendre l'accessibilité du personnel à la zone de la piscine, et de reconnaître les conditions qui peuvent se produire lors d'accidents graves. En conditions accidentelles, la mesure du rayonnement peut:

- indiquer une perte de protection radiologique de la piscine ainsi qu'une augmentation du rayonnement qui peuvent résulter de la manipulation ou de l'endommagement de composants dans la piscine;
- fournir des informations concernant le risque de rayonnement auquel le personnel de la centrale s'expose en tentant de mettre en œuvre des contre-mesures depuis la zone d'exploitation de la piscine;
- indiquer que le combustible n'est plus immergé dans l'eau; ou
- indiquer qu'une criticité est survenue.

La plage de l'instrument est normalement fondée sur des calculs de protection radiologique spécifiques à la centrale ou génériques et tient compte des autres sources de rayonnement qui peuvent être présentes en conditions accidentelles ainsi que des tâches qui doivent être accomplies par les opérateurs dans ces conditions.

- h) Niveau d'eau qui provoque un endommagement du combustible. Le niveau d'eau de la piscine s'est approché du niveau auquel un endommagement du combustible peut être attendu. Cette condition est normalement détectée par l'instrumentation de surveillance du niveau. La détection de cette condition indique une nécessité immédiate de prendre des mesures afin de prévenir les conséquences radiologiques ou de procéder à une évacuation. En fonction de l'énergie thermique du combustible, de la configuration du casier de combustible et d'autres facteurs, le délai entre le moment où le niveau d'eau de la piscine descend au-dessous du sommet du combustible et celui où le rejet de produits de fission commence peut s'étendre de quelques heures à plusieurs semaines. La capacité d'identifier le moment où le rejet de produits de fission est imminent peut permettre un délai d'évacuation.

Les fonctions de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible prévues pour détecter cette condition sont destinées à permettre aux opérateurs d'atténuer les conséquences d'un accident grave dans une piscine de refroidissement et de stockage du combustible. Ce niveau est normalement le point le plus élevé auquel le mélange de vapeur et le refroidissement par air peuvent refroidir le combustible. Cette fonction ne s'applique pas aux piscines de refroidissement et de stockage du combustible dans lesquelles les éléments combustibles sont entreposés horizontalement (réacteurs CANDU ou réacteurs avancés refroidis au gaz, par exemple).

- i) Niveau d'eau en bas du combustible. Le niveau d'eau de la piscine a atteint le point auquel le refroidissement par air est le mécanisme dominant de refroidissement du combustible. Cette condition est normalement détectée par l'instrumentation de surveillance du niveau. Lorsque le combustible usé est complètement émergé, la circulation de l'air devient le mécanisme de refroidissement dominant. A ce niveau, il peut être nécessaire de soigneusement contrôler le ravitaillement en eau afin d'éviter d'endiguer la circulation de l'air, à moins de pouvoir augmenter le niveau d'eau assez rapidement pour éviter de causer plus de dommages. Dans ces conditions, il peut également être nécessaire de ventiler le bâtiment qui abrite le combustible afin d'améliorer la circulation de l'air. Ce niveau est destiné à permettre aux opérateurs de reconnaître que des modes d'injection spécifiques peuvent être nécessaires si de l'eau doit être ajoutée à la piscine.

Les fonctions de l'instrumentation de surveillance des piscines de refroidissement et de stockage du combustible prévues pour détecter cette condition sont destinées à permettre aux opérateurs d'atténuer les conséquences d'accidents graves. Cette mesure correspond normalement au point auquel le niveau d'eau est descendu au-dessous des plaques de base du casier de combustible qui permettent la circulation naturelle de l'air à travers le combustible usé. Cette fonction ne s'applique pas aux piscines de refroidissement et de stockage du combustible dans lesquelles les éléments combustibles sont entreposés horizontalement (réacteurs CANDU ou réacteurs avancés refroidis au gaz, par exemple).

Bibliographie

- [1] USNRC:2012, *Official Transcript of Proceedings, Nuclear Regulatory Commission, Advisory Committee on Reactor Safeguards Subcommittee on Fukushima* (juin 2012), Washington, DC, ML121850321, <https://www.nrc.gov/docs/ML1218/ML121850321.pdf>
- [2] USNRC:2012, *Order Modifying Licenses with Regard to Reliable Spent Fuel Instrumentation*, Washington, DC, EA-12-051, ML12056A044, <https://www.nrc.gov/docs/ML1205/ML12056A044.pdf>
- [3] USNRC:2012, *Interim Staff Guidance, Compliance with Order EA-12-051, Reliable Spent Fuel Pool Instrumentation*, Rév. 0, Washington DC, JLD-ISG-2012-03, ML12221A339, <https://www.nrc.gov/docs/ML1222/ML12221A339.pdf>
- [4] Nuclear Energy Institute:2012, *Industry Guidance for Compliance with NRC Order EA-12-051, "To Modify Licenses with Regard to Reliable Spent Fuel Pool Instrumentation"* Nuclear Energy Institute, Washington DC, NEI 12-02, ML12240A307, <https://www.nrc.gov/docs/ML1224/ML12240A307.pdf>
- [5] The National Academies of Sciences:2014, *Lessons Learned from the Fukushima Nuclear Accident for Improving Safety of U.S. Nuclear Plants*, Washington DC, <http://nap.edu/18294>
- [6] The National Academies of Sciences, 2016, *Lessons Learned from the Fukushima Accident for Improving Safety and Security of U.S. Nuclear Plants: Phase 2*, Washington DC, <http://www.nap.edu/21874>
- [7] Agence internationale de l'énergie atomique, 1999, *Survey of Wet and Dry Spent Fuel Storage*, Vienne, IAEA-TECDOC-1100, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1100_web.pdf
- [8] AIEA SSR-2/1 Révision 1:2016, *Sûreté des Centrales Nucléaires: Conception*, Vienne, <https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1715web-46541668.pdf>
- [9] NEA:2015, *Status Report on Spent Fuel Pools under Loss-of-Cooling and Loss-of-Coolant Accident Conditions Final Report*, Paris, NEA/CSNI/R(2015)2, <https://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2015/csni-r2015-2.pdf>
- [10] IEC 63147 (IEEE Std 497™):2017, *Criteria for accident monitoring instrumentation for nuclear power generating stations* (disponible en anglais seulement), <https://webstore.iec.ch/publication/61009>

NOTE Il convient que l'utilisation de l'IEC 63147/IEEE Std 497-2016™ dans le domaine de l'IEC tienne compte des discussions présentées dans l'IEC TR 63123.
- [11] IEEE Std 497™, 2016, *IEEE Standard Criteria for Accident Monitoring Instrumentation for Nuclear Power Generating Stations* (disponible en anglais seulement), <https://ieeexplore.ieee.org/document/7530800>
- [12] IEEE Std 1023™, 2004, *IEEE Recommended Practice for the Application of Human Factors Engineering to Systems, Equipment, and Facilities of Nuclear Power Generating Stations and Other Nuclear Facilities* (disponible en anglais seulement), <https://ieeexplore.ieee.org/document/1440988>
- [13] USNRC, NUREG-0711, Rév 3, 2012, *Human Factors Engineering Program Review Model*, <https://www.nrc.gov/docs/ML1228/ML12285A131.pdf>
- [14] USNRC, NUREG-0700, Rév 2, 2002, *Human-Systems Interface Design Review Guidelines*, <https://www.nrc.gov/docs/ML0217/ML021700337.pdf>
- [15] IEC 61227:2008, *Centrales nucléaires de puissance – Salles de commande – Commandes opérateurs*, <https://webstore.iec.ch/publication/4942>

- [16] IEC 61772:2009, *Centrales nucléaires de puissance – Salles de commande – Utilisation des unités de visualisation*, <https://webstore.iec.ch/publication/5874>
- [17] IEC 61839:2000, *Centrales nucléaires de puissance – Conception des salles de commande – Analyse fonctionnelle et affectation des fonctions*
- [18] AIEA GSR Partie 2:2016, *Direction et gestion pour la sûreté*, <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1750web.pdf>
- [19] IEC TR 63123:2017, *Nuclear power plants – Instrumentation, control and electrical power systems – Guidance for the application of IEC 63147:2017/IEEE Std 497™ -2016 in the IAEA/IEC framework* (disponible en anglais seulement), <https://webstore.iec.ch/publication/60193>
- [20] IEEE Std 352™:2016, *IEEE Guide for General Principles of Reliability Analysis of Nuclear Power Generating Station Systems and Other Nuclear Facilities* (disponible en anglais seulement)
- [21] IEC 60812:2018, *Analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE et AMDEC)*, <https://webstore.iec.ch/searchform&q=60812>
- [22] IEEE Std 577™:2012, *IEEE Standard Requirements for Reliability Analysis in the Design and Operation of Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations* (disponible en anglais seulement), <https://ieeexplore.ieee.org/document/6335435>
- [23] MIL-STD 810H:2019, *Department of Defense Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, United States Department of Defense* (disponible en anglais seulement), https://quicksearch.dla.mil/qsDocDetails.aspx?ident_number=35978
- [24] IEC 60068-2-6:2007, *Essais d'environnement – Partie 2-6: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*, <https://webstore.iec.ch/searchform&q=60068-2-6>
- [25] IEC 60068-2-27:2008, *Essais d'environnement – Partie 2-27: Essais – Essai Ea et guide: Chocs*, <https://webstore.iec.ch/searchform&q=60068-2-27>
- [26] ASME NQA-1: 2019, *Quality Assurance Requirements for Nuclear Facility Applications, American Society of Mechanical Engineers* (disponible en anglais seulement), <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards?type=Standards&page=1&perPage=25&sortBy=bestselling&sortByDir=desc&designatorCategory=NQA&query=NQA-1>
- [27] *Glossaire de sûreté de l'AIEA*, Edition 2018, Vienne (2019), <https://www.iaea.org/publications/11098/iaea-safety-glossary-2018-edition>
- [28] IEC 60671:2007, *Centrales nucléaires de puissance – Systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande importants pour la sûreté – Essais de surveillance*, <https://webstore.iec.ch/searchform&q=60671>

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch