

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Nuclear powers plants – Instrumentation and control important to safety –
Management of ageing of sensors and transmitters –
Part 2: Temperature sensors**

**Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande
importants pour la sûreté – Gestion du vieillissement des capteurs et des
transmetteurs –
Partie 2: Capteurs de température**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 IEC, Geneva, Switzerland

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 from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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

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 corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

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 also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 21 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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.

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.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

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 aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 21 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

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.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Nuclear powers plants – Instrumentation and control important to safety –
Management of ageing of sensors and transmitters –
Part 2: Temperature sensors**

**Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande
importants pour la sûreté – Gestion du vieillissement des capteurs et des
transmetteurs –
Partie 2: Capteurs de température**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.120.20

ISBN 978-2-8322-6171-2

**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.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	9
4 Abbreviated terms	13
5 Technical background.....	13
5.1 General.....	13
5.2 Type of the sensors in IEC standards.....	14
5.2.1 General	14
5.2.2 RTDs in IEC standards	14
5.2.3 Thermocouples in IEC standards	14
5.3 Interface between the sensors and process in IEC standards.....	15
5.3.1 Thermowell.....	15
5.3.2 Cable connectors for temperature sensors.....	15
5.3.3 Cables of temperature sensors	15
5.3.4 Sheath for temperature sensor cable	15
5.4 Ageing effects of temperature sensors	16
5.5 Environmental stressors.....	16
5.6 Techniques for detecting temperature sensor ageing	17
6 Ageing management of temperature sensors.....	17
6.1 General.....	17
6.2 Methodology of ageing management.....	18
6.3 Ageing management program for temperature sensors	18
6.4 Identification and assessment of ageing by performance verification tests	19
6.5 Test and inspection interval	19
6.6 Test location	19
6.7 Calibration of measurement and test equipment (M&TE).....	19
6.8 Test and inspection results	20
6.9 Validation of test methods.....	20
6.10 Classification of condition monitoring system and its software.....	20
6.11 Replacement of sensor or its parts.....	20
7 Acceptable means for sensor testing	20
8 Relationship between initial qualification and sensor ageing management.....	21
Annex A (informative) Performance verification of temperature sensors.....	22
A.1 Tests – Verification of performance.....	22
A.2 Calibration test of temperature sensors.....	23
A.2.1 General	23
A.2.2 Comparison of traditional calibration and online calibration method	23
A.3 Response time testing	24
A.4 Uncertainty of elements for the sensors	24
A.5 Corrective actions for inoperable sensors	25
A.6 Alternative method with online testing	26
A.7 Documentation of calibration.....	26
Annex B (informative) IAEA and IEC standards related to ageing management of the sensors.....	27

Annex C (informative) Tolerances of temperature sensors in international standards	28
C.1 General.....	28
C.2 ITS-90.....	28
C.3 Tolerance classes of temperature sensors	28
C.4 Calibration tolerance	29
Annex D (informative) Development of a plant ageing management program of temperature sensors	30
D.1 General.....	30
D.2 Key steps for AMP of temperature sensors	30
D.3 Ageing management program	31
Bibliography.....	33
Figure 1 – Schematic diagram of a TC (sourced from IEC 62651)	14
Figure 2 – Conceptual methodology of ageing management processes.....	18
Table 1 – Examples of ageing effects and their potential causes.....	16
Table 2 – Examples of environmental stressors with potential consequence	17
Table A.1 – Consideration for verification of performance test	22
Table A.2 – Type test, routine test, and additional test for RTD.....	23
Table A.3 – Comparison of concerns of calibration methods	24
Table A.4 – Examples of uncertainty issues for RTDs.....	25
Table A.5 – Required example actions followed by acceptance criteria	25
Table B.1 – IAEA standards related to ageing management.....	27
Table B.2 – Ageing management standards for the sensors in IEC standards	27
Table C.1 – Tolerance classes of typical temperature sensors	29
Table D.1 – Key steps for the ageing management program of temperature sensors	31
Table D.2 – An example of AMP guidance sheet for the sensors.....	32

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

NUCLEAR POWERS PLANTS – INSTRUMENTATION AND CONTROL IMPORTANT TO SAFETY – MANAGEMENT OF AGEING OF SENSORS AND TRANSMITTERS –

Part 2: Temperature sensors

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. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of 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.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC 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 transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is 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 its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees 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 Publication or any other IEC 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 some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62765-2 has been prepared by subcommittee 45A: Instrumentation, control and electrical power systems of nuclear facilities, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
45A/1218/FDIS	45A/1227/RVD

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

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts in the IEC 62765 series, published under the general title *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Management of ageing of sensors and transmitters*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62765-2:2019

INTRODUCTION

a) Technical background, main issues, and organisation of the standard

With the majority of NPPs over 30 years old, the management of ageing of temperature sensors is currently a relevant topic, especially for those plants that have extended their operating licenses or are considering this option. This standard is intended to be used by operators of NPPs (utilities), systems evaluators, vendors, and by licensors. In the international temperature measurement, the scale of temperature has been updated with ITS-90 since it was published in 1990, so it is necessary that ITS-90 should be addressed in the standard to cover the calibration of measuring and test equipment for temperature sensors.

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

IEC 62765 is the third level IEC SC 45A document comprised of several parts to tackle the specific issue of management of ageing of sensors and transmitters in nuclear power plants (NPPs) for I&C systems important to safety. Part 2 of IEC 62765 is dedicated to temperature sensors.

IEC 62342 is the second level standard of SC 45A covering the domain of the management of ageing of nuclear instrumentation systems used in NPPs to perform functions important to safety. IEC 62342 is the introduction to a series of standards to be developed by IEC SC 45A covering the management of the ageing of specific I&C systems or components such as electrical cabling systems (IEC 62465), and sensors and transmitters (IEC 62765).

IEC 62765-2 is to be read in association with IEC 62342 and IEC TR 62096, which is the appropriate IEC SC 45A Technical Report that provides guidance on the decision for modernisation when the management of ageing techniques is no longer successful. 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 this standard

It is important to note that this standard establishes no additional functional requirements for safety systems. Ageing mechanisms have to be prevented and thus identified by performance measurements in order to minimize their impact on sensor reliability. Aspects for which special recommendations and limitations have been provided in this standard are:

- criteria for the evaluation of ageing of temperature sensors in NPPs;
- steps to be followed to establish the temperature sensor testing requirements for an ageing management program for NPP instrumentation systems; and
- relationships between on-going qualification analysis and ageing management program with regard to temperature sensors.

It is recognised that testing and monitoring techniques used to evaluate the ageing condition of NPPs' sensors and transmitters are continuing to develop at a rapid pace and that it is not possible for a standard such as this to include references to all modern technologies and techniques.

This standard identifies minimum requirements aimed at ensuring that any potential impacts on NPP safety due to the ageing of temperature sensors of NPPs can be identified and that suitable actions are undertaken to demonstrate that the safety of the plant will not be impaired. To ensure that this standard will continue to be relevant in future years, the emphasis has been placed on issues of principle, rather than specific technologies.

d) Description of the structure of the IEC SC 45A standard series and relationships with other IEC documents and other bodies documents (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 provides general requirements for electrical power systems of NPPs; it 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 ageing. 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 45A standard series, corresponds to the Technical Reports which are not normative.

The IEC SC 45A standards series consistently implement and detail 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 nuclear power plants (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 ageing management standards.

NOTE 1 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.

NOTE 2 IEC SC 45A domain was extended in 2013 to cover electrical systems. In 2014 and 2015 discussions were held in IEC SC 45A to decide how and where general requirements for the design of electrical systems were to be considered. IEC SC 45A experts recommended that an independent standard be developed at the same level as IEC 61513 to establish general requirements for electrical systems. Project IEC 63046 is now launched to cover this objective. When IEC 63046 is published this NOTE 2 of the introduction of IEC SC 45A standards will be suppressed.

NUCLEAR POWERS PLANTS – INSTRUMENTATION AND CONTROL IMPORTANT TO SAFETY – MANAGEMENT OF AGEING OF SENSORS AND TRANSMITTERS –

Part 2: Temperature sensors

1 Scope

This part of IEC 62765 identifies minimum requirements and applicable practices for correcting and preventing any potential impacts on nuclear power plant (NPP) safety due to the ageing of temperature sensors, such as NPP resistance temperature detectors (RTDs) and thermocouples (TCs).

This document provides strategies, technical requirements, and recommended practices for the management of the ageing of temperature sensors important to safety in nuclear power plants (NPPs) to ensure that ageing can be identified and that suitable remedial actions are undertaken as necessary to demonstrate that the safety of the plant will not be impaired. This document is aligned with IEC 62342, which provides guidance on ageing management for instrumentation and control (I&C) systems important to safety in NPPs.

IEC 62765 standard series covers pressure transmitters (Part 1) and temperature sensors (Part 2). Part 1 covers pressure transmitter (PT), level transmitter (LT) and flow transmitter (FT). Part 2 consists of resistance temperature detector (RTD) and thermocouple (TC) with respect to instrumentation and control (I&C) important to safety. Detector of neutron power (Part 3) will be covered in a separate standard.

Interfaces of temperature sensors with processes such as thermowells, seals, sheathes, extension/compensating cables, and connectors are within the scope of this document. Ageing management of temperature sensors used as M&TEs are beyond the scope of this document.

Temperature units of this document are in terms of International Temperature Scale-1990 (ITS- 90), because of consistency with normative references.

IAEA SSR-2/1 and SSR-2/2 address the requirements of ageing management in the design, as well as in the operation of the lifetime of the plant. SSG-39 recommends design consideration for ageing management specific to I&C system.

The requirements of temperature sensors for industrial and nuclear application in the normative references are indispensable to this document whereas this document focuses on the ageing management of temperature sensors to meet the requirements.

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 60584-1:2013, *Thermocouples – Part 1: EMF specifications and tolerances*

IEC 60584-3:2007, *Thermocouples – Part 3: Extension and compensating cables – Tolerances and identification system*

IEC 60671:2007, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Surveillance testing*

IEC 60737:2010, *Nuclear power plants – Instrumentation important to safety – Temperature sensors (in-core and primary coolant circuit) – Characteristics and test methods*

IEC 60751:2008, *Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors*

IEC/IEEE 60780-323:2016, *Nuclear facilities – Electrical equipment important to safety – Qualification*

IEC 61226:2009, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Classification of instrumentation and control functions*

IEC 61515:2016, *Mineral insulated metal-sheathed thermocouple cables and thermocouples*

IEC 62138:2004, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Software aspects for computer-based systems performing category B or C functions*

IEC 62342:2007, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Management of ageing*

IEC 62385:2007, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Methods for assessing the performance of safety system instrument channels*

IEC 62397:2007, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Resistance temperature detectors*

IEC 62465:2010, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Management of ageing of electrical cabling system*

IEC/IEEE 62582-1:2011, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Electrical equipment condition monitoring methods – Part 1: General*

IEC 62651:2013, *Nuclear power plants – Instrumentation important to safety – Thermocouples: Characteristics and test methods*

IAEA Safety Standard Series No. SSR-2/1:2016, *Safety of Nuclear Power Plant: Design, specific safety requirements*

IAEA Safety Standard Series No. SSR-2/2:2016, *Safety of Nuclear Power Plant: Commissioning and Operation, specific safety requirements*

IAEA Safety Standard Series No. NS-G-2.12:2009, *Ageing management for nuclear power plants: safety guide*

IAEA Specific Safety Guide No. SSG-39:2016, *Design of instrumentation and control systems for nuclear power plants*

3 Terms and definitions

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

ISO and IEC 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>

3.1

adjustment <of a measuring instrument>

set of operations carried out on a measuring instrument in order that it provides given indications corresponding to given values of the measurand

Note 1 to entry: An adjustment can be carried out during cross-calibration of temperature sensors in the temperature measurement channel.

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-03-16]

3.2

calibration

set of operations that establish, under specified conditions, the relationship between values of quantities indicated by a measuring instrument or measuring system, or values represented by a material measure or a reference material, and the corresponding values realized by measurement standards

[SOURCE: IAEA Safety Glossary, edition 2016]

3.3

calibration diagram

portion of the co-ordinate plane, defined by the axis of indication and the axis of results of measurement, which represents the response of the instrument to different values of the measurand

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-01-10]

3.4

compensating cables

manufactured from conductors having a composition different from the corresponding thermocouple. They are designated by the letter "C" following the designation of the thermocouple, for example "KC". In some cases different tolerances apply for the same thermocouple type over different temperature ranges. These are distinguished by additional letters such as, for example, KCA and KCB

[SOURCE: IEC 60584-3:2007, 3.1.2]

3.5

cross-calibration

procedure of inter-comparing the indications of redundant instruments (e.g., temperature sensors) to identify outlier sensors as a means of verifying calibration or identifying calibration changes. A more appropriate term for this definition is "cross-validation," although cross-calibration is more commonly used

Note 1 to entry: A calibration test of temperature sensors in some NPPs can be different from this definition mainly because an adjustment of the temperature channel during cross-calibration may be allowed within a predetermined allowable value.

[SOURCE: IEC 62385:2007, 3.6]

3.6

drift

change in the indication of a measuring instrument, generally slow, continuous, not necessarily in the same direction and not related to a change in the measurand

Note 1 to entry: Stability and shift are sometimes used interchangeably with drift.

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-06-13]

3.7

electromagnetic interference

EMI

degradation of the performance of an equipment, transmission channel or system caused by an electromagnetic disturbance

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-06]

3.8

extension and compensating cables

cables used for the electrical connection between the open ends of a thermocouple and the reference junction in those installations where the conductors of the thermocouple are not directly connected to the reference junction. The thermoelectric properties of extension and compensating cables shall be close to the properties of the corresponding thermocouple

[SOURCE: IEC 60584-3:2007, 3.1]

3.9

extension cables

cables manufactured from conductors having the same nominal composition as those of the corresponding thermocouple. They are designated by the letter "X" following the designation of the thermocouple, for example "JX"

[SOURCE: IEC 60584-3:2007, 3.1.1]

3.10

measurand

particular quantity subject to measurement

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-01-03]

3.11

platinum resistance thermometer

PRT

temperature responsive device consisting of one or more sensing platinum resistors within a protective sheath, internal connecting wires and external terminals to permit connection of electrical measurement instruments. Mounting means and connection heads may be included. Not included is any separable protection tube or thermowell

Note 1 to entry: The term PRT also refers to "resistance temperature detector (RTD)".

[SOURCE: IEC 60751:2008, 3.5]

3.12

resistance temperature detector

RTD

detector generally made up of a stainless steel cylindrical barrel protecting a platinum resistor whose resistance varies with temperature. This detector is placed in the piping containing the fluid whose temperature is measured in this way. It can be directly immersed in the fluid or protected by an intermediate casing called the thermowell

[SOURCE: IEC 62397:2007, 3.5]

3.13

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, 2016 edition]

3.14

self-heating error

rise in the indicated temperature due to the power dissipated in the sensor

[SOURCE: IEC 62397:2007, 3.7]

3.15

sensor

measuring element; part of a measuring instrument, or measuring chain, which is directly affected by the measurand and which generates a signal related to the value of the measurand

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-05-01]

3.16

thermocouple

TC

pair of conductors of dissimilar materials joined at one end and forming part of an arrangement using the thermoelectric effect for temperature measurement

[SOURCE: IEC 60584-1:2013, 2.3]

3.17

thermoelectric effect

Seebeck effect

production of an electromotive force EMF due to the difference of temperature between two junctions of different metals or alloys forming part of the same circuit

Note 1 to entry: The term Seebeck also refers to "thermoelectric effect".

[SOURCE: IEC 60584-1:2013, 2.1]

3.18

thermowell

protective jacket for temperature sensors (RTDs and TCs). The thermowell is also used to facilitate replacement of temperature sensor

[SOURCE: IEC 62385:2007, 3.19]

3.19

tolerance of RTD

initial maximum allowable deviation expressed as temperature in °C from nominal temperature/resistance relationship in RTD

3.20

tolerance of TC

initial maximum allowable deviation from the EMF specification of thermocouple

Note 1 to entry: The tolerance is expressed as the temperature equivalent, in °C.

4 Abbreviated terms

AFV	As Found Value
AV	Allowable Value
AMP	Ageing Management Program
CT	Calibration Tolerance
DBE	Design Basis Event
EMF	Electromotive Force
EMI	Electromagnetic Interference
EQ	Equipment Qualification
FSAR	Final Safety Analysis Report
HELB	High Energy (Steam) Line Break
IR	Insulation Resistance
ITS-90	The International Temperature Scale of 1990
LCSR	Loop Current Step Response
MIMS	Mineral Insulated Metal Sheathed
M&TE	Measurement and Test Equipment
NPP	Nuclear Power Plant
PRT	Platinum Resistance Thermometer
PT	Pressure Transmitter
R&D	Research and Development
RTD	Resistance Temperature Detector
QA	Quality Assurance
TC	Thermocouple
V&V	Verification and Validation

5 Technical background

5.1 General

IAEA SSR-2/1 describes the requirements of ageing management in the design for safe operation over a lifetime. It is also necessary that a design margin be provided to take account of the ageing mechanism, neutron embrittlement, and wear out, as well as the potential for ageing degradation. SSR-2/2 also requires an effective ageing management program over the operating lifetime of the plant. Subclauses 6.135 to 6.152 of SSG-39:2016 recommend design consideration for ageing management specific to I&C systems to meet the requirements of SSR-2/1.

The baseline of requirements of ageing management is to understand and identify the ageing phenomena, which cover the ageing mechanism, causes and potential effects of temperature sensors. Annex A summarises various kinds of tests for performance verification in order to identify a degradation in lifetime and to assess an ageing mechanism. IEC 62342 guides the general aspect of ageing management of instruments including temperature sensors, whereas IEC 60737 and others listed in Annex B cover characteristics and test methods of temperature sensors. Existing IAEA and IEC standards for ageing management standards are summarised in Annex B.

Performance tests in Annex A are important because they can detect ageing effects. Acceptance criteria for tests of temperature sensors are a critical element of an ageing management program (AMP) and they should be understood to identify the ageing effects, to evaluate the ageing problem, and to take a corrective action. The specified temperature tolerances of temperature sensors used as a basis for acceptance criteria for calibration tests are summarised in Annex C. Key steps and an example of AMP sheet are shown in Annex D.

5.2 Type of the sensors in IEC standards

5.2.1 General

TCs and RTDs are both used for the temperature measurement of fluid, steam, or gas in the process of NPPs. The choice of TC versus RTD depends on the application and requirements for accuracy, response time, repeatability, linearity, and other factors.

The difference of accuracy or tolerance between PTs and temperature sensors is as follows:

- Expression of accuracy of PTs: percentile of full span, the same within a full span.
- Expression of accuracy of temperature sensors: not the same within a full span, but constant within a specific temperature range and linearly dependent on measuring temperature beyond the range.

5.2.2 RTDs in IEC standards

An RTD consists of a wired coil or deposited film of pure metal, commonly platinum, whose resistance changes with temperature. IEC 60737 describes the requirements of qualification tests and other design type tests of the temperature sensors in NPPs. IEC 60751 specifies temperature tolerances for each class of RTD, temperature/resistance relationship (i.e. a reference calibration diagram), and acceptance criteria for type tests and routine tests. IEC 60751 has been used widely as an industrial RTD standard. IEC 62397 specifies environmental qualification and other requirements for RTDs in NPPs.

5.2.3 Thermocouples in IEC standards

Thermocouples are temperature-sensitive elements that convert thermal difference into electric voltage. The principle is to measure an EMF voltage between two dissimilar conductors. Metal A and Metal B in Figure 1 have a contact potential; i.e. EMF between them, and the EMF changes as the temperature changes. The cold junction (T_c) is maintained at a reference temperature, while the hot junction (T_h) is attached to a probe to the process to be measured as shown in Figure 1.

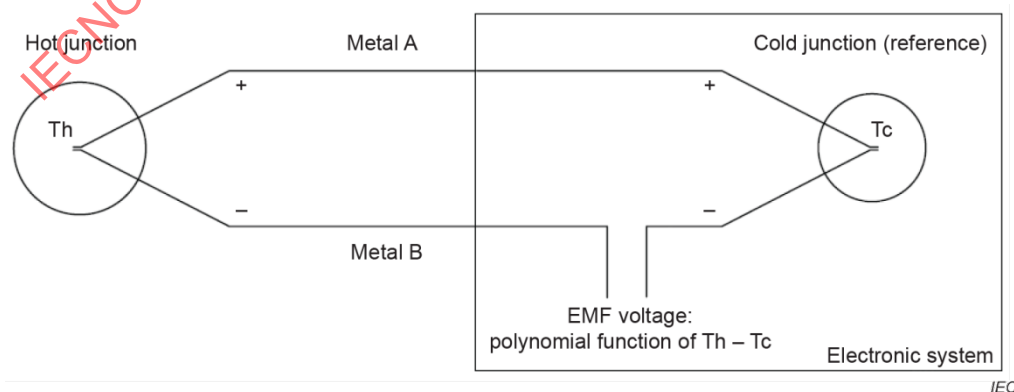


Figure 1 – Schematic diagram of a TC (sourced from IEC 62651)

IEC 60584-1:2013 includes a majority of characteristics related to TCs:

- Annex A covers EMF specifications with temperatures.

- The tolerances of TCs for types R, S, B, J, T, E, K, N, and A are given in Clause 5 and Table 12.
- Annex C gives useful information for the selection of a specific type of TC under different environmental conditions, in particular, with neutron irradiation effects.

IEC 61515:2016 covers mineral insulated metal sheathed (MIMS) thermocouple cables and thermocouples. For nuclear application, IEC 62651 specifies the characteristics and test methods for TCs.

5.3 Interface between the sensors and process in IEC standards

5.3.1 Thermowell

A temperature sensor, RTD and thermocouple, can be used either in direct contact with the process to be measured (bare) or inside a thermowell, which can protect the sensors from the environmental conditions.

Subclause B.2.1 and Clause C.6 of IEC 62342:2007 discuss ageing effects and a performance degradation of response time due to interface problem of thermowell.

5.3.2 Cable connectors for temperature sensors

RTD cable connectors can be an integral part of RTD assembly with seals for electrical connection to RTD cable. For TC cable connection, there can be joint connections between TC cables and extension/compensating cables.

IEC 62651 specifies the requirements of design, installation and operation for TC cable connectors. Subclause B.4.3 of IEC 62342:2007 discusses ageing management of connectors.

5.3.3 Cables of temperature sensors

The characteristics for cables of temperature sensors depend on the type of the sensors. RTD uses a standard instrument cable. However, materials and characteristics of cables for TCs are different from those for RTDs.

For an example of type K thermocouple, TC cables in Figure 1 consist of a positive cable (metal A, KP) and a negative cable (metal B, KN). The EMF signal can be transmitted with extension cables and compensating cables to the temperature signal processing part. The metal alloys of extension and compensating cables can be different from that of the type K thermocouple cables (i.e. KP and KN).

Subclauses 6.4.3.1.2 to 6.4.3.1.3 of IEC 62651:2013 describe the installation requirements of TC cables in NPPs. Table 1 of IEC 60584-3:2007 specifies the tolerances for various types of extension/compensating cables. IEC 62465 discusses electrical tests for RTD cable testing which consist of Time Domain Reflectometry (TDR) test and, insulation resistance (IR) test with respect to ageing management of cables.

5.3.4 Sheath for temperature sensor cable

Sheath is a protective part of temperature sensor cable. Sheathed TC cable is embedded in a mineral insulation within a gas-tight, metal protecting tube as a sheath, with the two leads brought out for measurement through a moisture-proof seal.

IEC 60737 specifies the sheaths of RTDs and TCs in NPPs and IEC 61515:2016 establishes the requirements for simplex, duplex, and triplex MIMS cables as base-metal conductors of Types K, N, etc.

5.4 Ageing effects of temperature sensors

Ageing of temperature sensors can cause measurement errors, erratic signals, spikes, noise, degradation of response time, and other anomalies. Ageing effects can also invalidate the environmental qualification required to operate in harsh environments during accident conditions. Neutron flux can affect thermocouple alloys causing structural changes and producing EMF measuring errors. Over a period of time, flow-induced vibration and mechanical shock that can occur in normal service can result in the cracking of the temperature sensor seal allowing moisture ingress into the sensor, which could affect the sensor indication. Examples of ageing effects and potential causes are shown in Table 1. Further, 6.145 of SSG-39:2016 shows an example of means to account for ageing effects, and 6.144 recommends techniques for identification of ageing mechanisms.

Table 1 – Examples of ageing effects and their potential causes

Ageing effects		Potential causes
Sensor effects	IR change of the sensor itself resulting in change of the sensor output of accuracy	Embrittlement and cracking of seals due to radiation and heat Mechanical shocks or vibration induced force
Cable or lead effects	RTDs: IR change of the RTD extension lead, resulting in change of RTD output of accuracy	Manufacturing flaws Chemical foam flaw filled in connector head Pressure cycling Flow fluctuations, vibration Corrosive thinning by chemicals and chemical reaction
	TCs: IR change of extension cable and compensating cable insulation resistance resulting in change of TC output of accuracy	
Thermowell effects	Change of temperature sensor response time due to thermowell problem Leakage of the wall Loose contact of the sensors	Erosion and corrosion by chemicals Fluid flow force Mechanical shocks or shearing force

The detection, monitoring, and mitigation of ageing effects on the plant temperature sensors are major elements of AMP as shown in Table D.2.

5.5 Environmental stressors

Environmental stressors affect the components of the temperature sensors, such as RTD seals or sheathed TC cables. Those stressors with potential to damage sensors in NPPs are shown in Table 2.

Table 2 – Examples of environmental stressors with potential consequence

Ageing stressor	Potential consequence
Radiation, in particular neutron transmutation	Embrittlement and cracking of seals allows moisture into sensor insulation (radiation near reactor core) Material composition and structural changes causing EMF measurement errors
Heat/Temperature cycling	Failure of seals, allowing moisture intrusion (microscopic cracks from thermal expansion and contraction)
Humidity/Moisture	Failure of seals due to moisture intrusion where moisture can weaken dielectric strength of insulators
Pressure transients	Deformation of sensing element, seals, sheath or thermowells
Vibration fatigue or mechanical shock	Loosening or disintegration of the sensor's components including thermowells resulting in signal error
Corrosive chemicals/lubricants	Wear, friction, and sticking of metal parts such as seals or thermowells Changes in TC wire alloy composition: increase of IR
NOTE Table 1 of IEC 62465:2010 gives equivalent information for stressors on general cables in NPPs.	

Neutron flux affects thermocouple alloys, resulting in material composition and structural changes. In general, type N has improved on characteristics against high neutron environmental condition. Monitoring these environmental stressors is as an important aspect of an effective AMP. The ageing mechanism with a qualified life and a condition in the equipment qualification (EQ) report addresses ageing mechanisms for a qualified life that can provide useful information, which is one of the effective means of the ageing management program of temperature sensors in NPPs. Operational and installation stressors of TCs in NPPs are described in 6.4 to 6.5 of IEC 62651:2013. Maximum temperature, environmental stressors, and neutron irradiation effects on TCs are specified with recommendations in Annex C of IEC 60584-1:2013. Note that type K and N TCs are recommended for use near a nuclear reactor, as referenced in Table C.1 in IEC 60584-1:2013. Various ageing stressors with potential to damage cables are shown in 4.4 and in Table 1 of IEC 62465:2010.

5.6 Techniques for detecting temperature sensor ageing

The installation tests or initial type tests should provide baseline performance data for ageing management with respect to the verification of the performance of temperature sensors. Performance verification testing is a means of detecting ageing effects on temperature sensors. Assessment of ageing effects and mechanisms in EQ test reports for sensor ageing should be traceable under quality management of the AMP for temperature sensors. Visual inspections can be useful to identify corrosion damage to thermowells or degradation of seals. Moisture intrusion can be detected by IR checks. Certain tests in Annex A can be performed using online monitoring techniques. Online monitoring has the advantage of earlier identification of ageing issues. Refer to Clause A.6 for more information of online testing and monitoring of the sensors. The detection, monitoring, and mitigation of ageing effects on the plant temperature sensors are major elements of AMP as shown in Table D.2.

6 Ageing management of temperature sensors

6.1 General

This clause provides specific requirements and recommendations to establish the methodological approaches and the practical processes necessary for ageing management of temperature sensors from a general I&C system ageing management in IEC 62342. The requirements of ageing management in the design, as well as in the operation of the lifetime of the plant are described in the IAEA SSR-2/1 and SSR-2/2. To meet the requirements, IAEA NS-G-2.12 supplements and provides recommendations of ageing management. Understanding and identification of the ageing effects of temperature sensors are keys to

effective ageing management program (AMP) of the sensors. The ageing management processes for I&C equipment and systems are shown in Figure 1 of IEC 62342:2007, which directly applies to the ageing management process for the sensors. The general ageing management processes for I&C system are also described in Clause 5 of IAEA-TECDOC-1147:2000. IEC/IEEE 62582-1 specifies the condition monitoring methods to enhance the accuracy and repeatability, and to provide standard formats for reporting the results. In addition to the ageing management process, IAEA NS-G-2.12 recommends the systematic steps and program with the plant specific activities. Such activities of AMP are described in Annex D of this document.

6.2 Methodology of ageing management

The basic methodology of ageing management for sensors should involve the following conceptual processes in an iterative way as illustrated in Figure 2.

- a) Identification of ageing effects: Ageing effects in Table 1 and environmental stressors in Table 2 should be understood and shall be identified. Step 1 of Table D.1 shows sources of information for the identification.
- b) Assessment of ageing effects: The affected, identified and degraded performance due to ageing shall be assessed. Annex A identifies performance verification methods that can be used to detect ageing effects and discusses the implementation of these test methods. Step 2 and step 3 of Table D.1 show sources of information for the assessment.
- c) Action for correction and prevention: Action shall be taken to counteract the ageing effects that affect a sensor's ability to perform its functions important to safety. Table A.5, Table D.1 (step 5), and Table D.2 (item 2 and 3) show examples for activities and sources of information for corrective actions.

Such actions can involve:

- Replacement of the sensors and cables of the sensors, and reduction of stressors,
- Implementation of additional testing for the parts indicating degradation or deviation from specifications due to ageing, and
- Adaptation of functional characteristics (recalibration, change of set-points, etc.) to take into account acceptable ageing degradation.

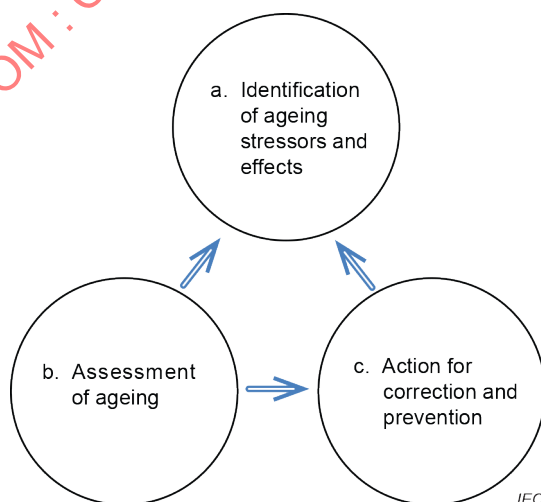


Figure 2 – Conceptual methodology of ageing management processes

6.3 Ageing management program for temperature sensors

With the methodology of ageing management processes of Figure 2, the plant organisation responsible for the AMP of the sensors can take five key steps for plant specific ageing management activities including identification of the plant documents as shown in Table D.1.

Table D.2 summarises the essential items for the activities for implementing the AMP as an example of AMP sheet.

6.4 Identification and assessment of ageing by performance verification tests

Testing of sensors is performed in NPPs in order to identify problems such as signal anomalies, to establish baseline measurements as a reference for predictive maintenance, and to evaluate sensor ageing. Tests such as those in Annex A should be applied. Performance verification tests should address:

- Verification of static and dynamic performance of the sensor during periodic tests and/or through online monitoring, and
- Verification of consistency between correlated process data or redundant sensors.

These methods can be used while the plant is operating, as well as during an outage. Any test method shall be validated according to 6.9. To identify the consequence of stress or detect degraded performance as a result of ageing, various tests for temperature sensors can be applied according to IEC 60737 (RTDs and TCs), IEC 62397 (RTDs), and IEC 62651 (TCs). Environmental qualification test reports of ageing mechanism can give information as baseline acceptance criteria for succeeding test results. Performance verification is one of the five key steps for the AMP of temperature sensors as shown in Table D.2.

6.5 Test and inspection interval

Test and inspection intervals during operation or refuelling period shall be established to detect ageing effects before they lead to unacceptable performance. The following factors should be considered in determining the test interval.

- age and type of RTDs/TCs with environment condition (oxidizing/reducing chemicals, hydrogen or sulphurous chemicals, neutrons/ gamma rays, temperature, and humidity) in 5.4 to 5.5,
- method for the detecting misalignment of the connectors in 5.3.2,
- manufacturer's recommendations and other industry standards for the sensors and interfaces in 5.3,
- margin between measured performance characteristic and desired performance in performance test in Annex A,
- trend of degradation, sensor failure rates, and target reliability in Table D.2,
- environmental stressors of sensors in Table 2, and
- the allowable drift over a certain period (Table A.5).

The test interval is the relevant design parameter for the demonstration that reliability and availability goals are met according to IEC 60671.

6.6 Test location

The tests may be performed in situ or sensors can be removed and testing performed in a laboratory. Removal and reinstallation of sensors is not advised because of the potential introduction of additional failure mechanisms and therefore in situ techniques are preferred.

6.7 Calibration of measurement and test equipment (M&TE)

The M&TE for calibration of temperature sensors shall have a valid calibration certificate traceable to an international or a national measurement standard. The measurement uncertainty of M&TE shall meet a national measurement standard and the requirement of plant specific calibration program.

Subclause 5.34 of IAEA GS-G-3.1:2006 recommends that the calibration requirement and interval of calibration of M&TE should be specified. Personnel responsible for controls for M&TE should be defined too. Refer to Clause A.7 for documentation of calibration. Ageing management of M&TE sensors is beyond the scope of this document.

6.8 Test and inspection results

Acceptance criteria for tests and inspections shall be defined in advance. Test and inspection results shall be compared to the acceptance criteria. If the results do not comply with acceptance criteria, corrective action shall be taken to address the problem as shown in the example sheet of AMP, Table D.2.

6.9 Validation of test methods

Testing methods of the sensors should be validated to ensure that the testing results correlate well with the condition of the sensors. This validation shall be documented and it should address the following considerations:

- comparison of test methods with suitable laboratory tests, in situ tests, or both types of tests to establish the validity of the method,
- theoretical justification for the test method, and
- the assumptions made and conditions used to ensure that the validity of the test method have been established.

6.10 Classification of condition monitoring system and its software

Additional systems for condition monitoring in AMP shall be identified according to the classification procedure of IEC 61226 with respect to its functionality or its design basis. A condition monitoring system for the surveillance of sensors performing functions important to safety can be categorised lower than the sensors being monitored. Software installed in the condition monitoring system as classified by IEC 61226 shall be subjected to meet the requirements specified in IEC 62138.

6.11 Replacement of sensor or its parts

When a sensor or its parts such as mechanical seal and sheath are replaced, the quality management activity should be followed as specified for the specific plant. Personnel who have been properly trained shall perform ageing management activities. Quality management requirement in IAEA Safety Guide No. GS-G-3.1 should apply directly to this document when replacing a sensor or its components with respect to procurement process. In addition, where the aged parts or damaged parts are replaced, special attention should be paid to managing suspect and counterfeit items for the parts of sensors as described in appendix III of IAEA GS-G-3.1:2006 as well as IAEA-TECDOC-1169.

7 Acceptable means for sensor testing

Annex A provides examples of methods that can be used for temperature sensor testing in NPPs, whereas Annex C gives examples of acceptance criteria for the sensor testing. Those methods can be used for temperature sensor testing in NPPs, provided that they meet the requirements of this document and are validated according to the validation criterion identified in the international standards for the methods, software, and equipment of testing. IEC 60671 should be applied to the sensor surveillance testing. The performance verification requirements for calibration, channel checks, functional tests, and response time testing of temperature sensors shall be consistent with IEC 62385.

8 Relationship between initial qualification and sensor ageing management

Temperature sensors important to safety for use in harsh environments of NPPs are normally qualified using IEC/IEEE 60780-323. These initial qualification activities are aimed at determining the ability of sensors of a given design to perform their safety functions under accident environmental conditions when the sensors are at the end of their qualified life. Type tests for industrial RTDs in Table A.2 can be baseline tests with additional harsh conditions.

These qualification tests do not, by themselves, guarantee reliable service of the sensors for the duration of their qualified life unless the assumed environmental conditions are maintained during operation. Periodic testing, inspection, and analysis of test data as outlined in this document shall therefore be implemented to ensure plant safety. The temperature sensors located in harsh environment areas of the plant should be replaced before the end of the qualified life established by the EQ program and/or AMP in Annex D. Ongoing qualification with the qualified life is discussed in 6.148 of SSG-39:2016.

Furthermore, activities of AMP in Annex D can be performed as testing, assessment, inspection, and preventive maintenance of vulnerable and replaceable parts.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62765-2:2019

Annex A (informative)

Performance verification of temperature sensors

A.1 Tests – Verification of performance

Verification of performance of temperature sensors is one of key steps for ageing management program (AMP) as shown in Table D.1 and one of the critical elements in AMP for identification, detection, monitoring, and trending of ageing effects as shown in Table D.2 of Annex D.

Performance of sensors is categorised into two functionalities. One is steady state functionality (accuracy) and the other is dynamic state functionality (response time). IEC 62385 discusses the details for verification of performance with tests and specifies the test requirements. An ageing management of sensors should be achieved to maintain the functionality or performance and qualification for sensors. The performance of the sensors can be verified at an interval of surveillance in the specific plant. These test methods also may include means to perform the test *in situ* while the plant is operating.

Ageing effects in Table 1 and stressors in Table 2 can be identified and confirmed in the EQ test report and/or in the suppliers' specification of the sensors as well as assessment of the ageing process in Figure 2. The various verification of performance tests are summarised as Table A.1 for general sensors and Table A.2 for RTDs.

Table A.1 – Consideration for verification of performance test

	Design, manufacturing, installation	Operation
Test category	Type test (Design test) Routine test (Factory test) Commissioning test	Channel test (check) Functional test Calibration tests including cross-calibration Response time tests Online/in situ testing for calibration and response time
Test intervals	Regulatory requirements, Vendor's recommendation	Surveillance requirement specified in the plant Trend of degradation Target reliability
Evaluation of test results	Evaluation of type test: identifying susceptible ageing components	Evaluation of data collected during operation, Trending for identifying susceptible ageing components
Quality management requirement	Documentation traceable of test procedure and record Calibration with measurement and test equipment Personnel qualification	

Ageing mechanisms should be confirmed in the equipment qualification reports provided by suppliers, in which a qualified life is defined with a specified margin.

Examples of various tests for industrial RTD are summarised in Table A.2. In particular, the requirements of testing in Clause 8 of IEC 60737:2010 are applicable to temperature sensors in NPPs. Every manufactured product of RTD is tested in routine test. Refer to IEC 60751, IEC 60737, and IEC 62651 for details of temperature sensors testing.

Table A.2 – Type test, routine test, and additional test for RTD

	Routine test or factory test for all products	Type test for sampled products	Additional test
Resistance tolerance	o	o	
Sheath integrity test	o	o	
Dimensional test	o	o	
Drift test at upper temperature limit		o	
Thermoelectric effect test		o	
Temperature cycling test		o	
Self-heating test		o	
Insulation resistance test at elevated temperatures		o	
Thermal response time test		o	
Hysteresis test		o	
Minimum immersion depth		o	
Capacitance between terminal and the sheath at a frequency of 1 kHz			o
Inductance at a frequency of 1 kHz			o
Dielectric strength			o
Vibration test			o
Drop test			o

The temperature tolerance for each tolerance class of RTD and TC in Table C.1 can apply to calibration test in design, manufacturing, installation, and operation for a new temperature sensor. Furthermore, the temperature tolerance can apply to baseline acceptance criteria for cross-calibration if available. Clause 6 of IEC 60671:2007 specifies the requirements for surveillance tests of the sensors in NPPs. IEC 61224 describes in-situ response time test of RTDs.

A.2 Calibration test of temperature sensors

A.2.1 General

Calibration test for temperature sensor is generally performed at a laboratory. Recently, online calibration is available and acceptable with some limitations. The difference of characteristics of temperature sensors from pressure transmitters (PTs) is the method of adjustment of the sensor during calibration. The output of a PT can be adjusted in an embedded electronic board, whereas the temperature sensor itself is a passive component with no adjustment device. Refer to definition 3.5 to definition 3.7 for calibration terminologies. Subclause 7.2.2 of IEC 62651:2013 explains the calibration methods of TCs. Subclause 4.7.2 of IEC 62397:2007 specifies the calibration methods of RTD in type test and routine test stage.

A.2.2 Comparison of traditional calibration and online calibration method

Online monitoring system for cross-calibration and response time testing overcomes various problems in traditional testing with respect to the safety of radiation workers during calibration in reactor building. Major advantages of online cross-calibration include predictive maintenance only for faulted sensors, diagnostics of thermowells problems, and capability for instrument cable monitoring. Comparison of calibration methods are summarised in Table A.3. Installing a newly calibrated RTD requires caution due to potential for mechanical shock and loose seating in thermowell. The shock might introduce a drift, which can invalidate the

calibration itself. Alternatively, online in situ testing can eliminate these concerns for mechanical shock from handling. The online calibration of temperature sensors means cross-calibration for redundant temperature sensors in a group that are closely correlated in measuring the same temperature in a process.

Table A.3 – Comparison of concerns of calibration methods

Concerns	Traditional calibration method	Cross-calibration in-situ	
		With a reference RTD	Without a reference RTD
Mechanical shock and loose seating	Possible, depending on numbers of installation Slow response time and inaccurate output	Only one for installation	None
Operational drift	None	Being confirmed with a reference RTD	Unlikely (see NOTE)
NOTE Unlikely but needs justification according to Clause A.5 of IEC 62385:2007.			

A.3 Response time testing

A verification test of response time encompasses the instrument channel portion of overall safety system including thermowells and all other components that affect the instrument channel response time. An in situ response time test does detect an aging effect of the thermowell.

Response time tests in-situ are classified according to whether they are active or passive in nature. Loop current step response time (LCSR: active method) testing requires a direct mean of stimulating sensors. Noise analysis (passive method) involves monitoring inherent process fluctuations through the sensing system. IEC 61224 discusses response time testing of RTDs in-situ. Another benefit of the in-situ test of the sensors is to detect a loose seating to thermowell. Textbooks of Dr. Hashemian in the Bibliography describe theories and practices of the online response time test for temperature sensors. Subclause 7.2 and Annex D of IEC 62385:2007 cover response time tests for RTDs and TCs.

A.4 Uncertainty of elements for the sensors

The specific measured values of the sensors of the plant should be confirmed with various test reports with a margin. A thermal EMF at electrical connectors of RTD can be developed due to dissimilar metals in RTD circuits which can create measurement error. TC type K negative (KN) alloy is slightly magnetic which could create EMI concerns as described in 6.5.5 of IEC 62651:2013. In Table C.2 of IEC 60584-1:2013, it is noted that there can be a reversible change in EMF within a specific temperature range.

Detailed experiences of degraded temperature sensors in the USA are described in NUREG /CR-4928, NUREG/CR-5560 and texts written by H.M. Hashemian. Examples of uncertainty issues with normal and abnormal operation conditions, as well as accident conditions for RTD are summarised as Table A.4.

Table A.4 – Examples of uncertainty issues for RTDs

	Normal/abnormal operation conditions	Accident conditions	
Reference accuracy	Temperature tolerances in Table C.1	Only uncertainties specific to the event or due to the drift, resulting from ageing during the required service period, should be used.	Temperature effects
	Temperature limits		
	Hysteresis, repeatability and reproducibility for RTD		
Environmental effects	Power supply voltage changes		Radiation effects
	Temperature/pressure/ humidity changes		
	Thermal EMF in RTD		
	Self-heating in RTD		
	Fast and thermal neutron flux		Seismic/vibratory effects
	Vibration		Effects of accidental ambient conditions located within harsh environment
EMI			
Ageing effects	Refer to Table 1 for examples		
Drift	Not all temperature sensors can have the same calibration interval. The drift used should be based on instrument-specific calibration intervals.		
M&TE	Uncertainty of M&TE should be identified with a certified document		
NOTE Terms used in this Table are defined in 5.3.1 of IEC 61888:2002.			

A.5 Corrective actions for inoperable sensors

When the temperature sensors are cross-calibrated with a set of known temperature inputs, a set of outputs should be categorised into three groups as shown in Table A.5.

Table A.5 – Required example actions followed by acceptance criteria

Acceptance criterion for each group	Group I	Group II	Group III
	(AFV ≤ CT)	(CT < AFV ≤ AV)	(AFV > AV)
New status	Operable as-found value	Operable with adjustment	Inoperable, replacement
Method of corrective action	Leave as is	Recalibrate	Immediate corrective action required ²⁾
Descriptions	As Found Value (AFV) is within Calibration Tolerance (CT) ¹⁾	AFV is outside CT but within the Allowable Value (AV)	AFV is outside the AV
¹⁾ Calibration tolerance can be specified on tolerance classes AA, A, B, and C for RTD and class 1, 2, and 3 for TC as in Table C.1 of this document. ²⁾ If AFV is larger than AV, the only immediate corrective action would be replacement without any adjustment unless justification is given.			

Group I does not require calibration adjustment if the maximum uncertainty among the measured outputs remains within a specified calibration tolerance (CT). CTs for temperature sensors are specified as Table C.1 for each tolerance class for RTDs and TCs.

Group II can be recalibrated in situ if uncertainties among the measured outputs are within a specified allowable value (AV) and beyond CT. The output of the sensors in the instrument channel can be adjusted within a specified CT.

For Group III, if the as-found value (AFV) exceeds the AV, then no adjustment is necessary. The inoperable sensor should be removed for further investigation in the laboratory and replaced with a newly calibrated temperature sensor. The values such as-left value, as-found value, calibration tolerance value, and allowable value depend on the plant setpoint calculation by IEC 61888.

A.6 Alternative method with online testing

Online system of calibration test and response time test with data analysis may be acceptable with limited conditions. If the online monitoring system is categorised by IEC 61226, analysis software should have a V&V certificate. The examples for monitoring technique for ageing management of I&C are shown in 6.14 of SSG-39:2016.

IEC 62385 discusses online testing requirements with single point issues, as well as a common mode drift. Annex C of IEC 62342:2007 discusses the online response time test and calibration test. Numerous testing or monitoring techniques in order to measure ageing effects in cables and to identify effective cable maintenance techniques are introduced in Annexes B, C, and E of IEC 62465:2010. Such techniques can be applicable to the temperature sensor cables. IEC/IEEE 62582-1 gives general requirements for condition monitoring in electrical equipment in NPPs.

A.7 Documentation of calibration

Calibration method and interval of calibration can be based on the type of equipment, drift characteristics, required accuracy, intended use, and other conditions affecting performance. Calibration requirements may depend on the plant specific calibration program of quality management system based on SSR 2/1 and SSR 2/2. Subclause 5.34 of IAEA-GS-G-3.1:2006 describes the requirement of M&TE. Some plants can have their own plant calibration program with M&TE according to NQA-1. Refer to 6.7 for documentation of M&TE. The documents of calibration should be traceable as the one of key steps of AMP in Table D.1, which is an evidence of performance verification according to the recommendation for documentation in IAEA GS-G-3.1.

Annex B (informative)

IAEA and IEC standards related to ageing management of the sensors

IAEA SSR-2/1 and SSR-2/2 address the requirements of ageing management in the design as well as in the operation of the lifetime of the plant. IAEA standards related to ageing management are summarised in Table B.1.

Table B.1 – IAEA standards related to ageing management

Superseded publication	Current publication
NS-R-1 (2000)	SSR 2/1 (2016)
NS-R-2 (2000)	SSR 2/2 (2016)
50-SG-QA1(1984)	GS-G-3.1(2006)
NS-G-1.3	SSG-39(2016)
NS-G-2.12 (2009)	
TECDOC-1147 (2000)	

IEC standards related to ageing management of the sensors are shown in Table B.2. IEC 62385 and IEC/IEEE 60780-323 specify a general performance assessment and qualification for I&C system and equipment. IEC 60671 specifies surveillance requirements for I&C system and equipment. IEC 62342 gives a comprehensive guidance for ageing management for various components of I&C system.

Table B.2 – Ageing management standards for the sensors in IEC standards

		General requirements and recommendations	Ageing management
I&C System		IEC 62385:2007 IEC/IEEE 60780-323 IEC 60671:2007	IEC 62342:2007
Sensors	PTs	Not available	IEC 62765-1:2015
	RTDs, Cables	IEC 60737:2010 IEC 60751:2008, see NOTES 1 and 2 IEC 61224:1993 IEC 62397:2007. see NOTE 3	IEC 62765-2
	TCs, Cables	IEC 60737:2010 IEC 60584-1: 2013, see NOTE 4 IEC 60584-3; 2007, see NOTE 5 IEC 61515:2016 IEC 62651:2013	
	Cable system	IEC 61537:2006	
NOTE 1 The thermometer defined in IEC 60751 means RTD in this document.			
NOTE 2 IEC 60751 describes tolerance classes for RTDs. For users of old RTD specifications, it is noted that IEC 60751:1986 was updated from IEC 751:1983, British Standard 1904:1984 and DIN 43760:1968.			
NOTE 3 IEC 62397 covers RTD design and test requirements for nuclear application.			
NOTE 4 IEC 60584-1:2013 supersedes IEC 60584-2:1982 (Tolerance classes of TCs).			
NOTE 5 IEC 60584-3:2007 covers tolerance classes of extension and compensating cables.			

Annex C (informative)

Tolerances of temperature sensors in international standards

C.1 General

Uncertainties of temperature sensors are determined by temperature accuracies or tolerances in IEC standards, which can be used as acceptance criteria for performance verification in the AMP. Uncertainty of temperature sensors used in the process of NPPs may be $\pm 0,1$ °C or more depending on the plant specific analysis. The reason for summing up the tolerances of temperature sensors in IEC standards is that the tolerance in this clause will be used as a baseline acceptance criterion in AMP.

C.2 ITS-90

The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) is defined with fixed points of 17 substances, as examples triple point of water(H₂O) is 0,01 °C and freezing point of Tin (Sn) is 231,928 °C, etc. The fixed points are used for calibration of M&TE (e.g. Standard PRT with $\pm 0,001$ °C) for temperature sensors as well as calibration of TCs. EMF of specific types of TC at the fixed temperature of ITS-90 are specified in the Table 13 of IEC 60584-1:2013. Clause 29 of NUREG/CR 5560:1990 described that ITS-90 impact on temperature measurement in PWR NPPs was a correction of up to $- 0,005$ °C (negative value) in the range 0 °C to 400 °C and there were no safety concerns due to its conservatism.

C.3 Tolerance classes of temperature sensors

The manufacturer can provide a calibration diagram for each RTD to be used as a baseline value for acceptance criteria. The tolerance of RTD is a function of temperature. In RTD Class A, the tolerance value is $\pm 0,15$ °C at 0 °C which is the smallest within measuring range. The tolerance is proportional to measuring temperature; e.g. the tolerances at 100 °C, 200 °C, 375 °C, and 450 °C is $\pm 0,35$ °C, $\pm 0,55$ °C, $\pm 0,90$ °C, and $\pm 1,05$ °C respectively. The tolerance of a TC is constant value within a specified temperature range, but beyond the range, it uses a linear function of temperature. For an example of TC type N Class 1, temperature tolerance is $\pm 1,5$ °C within 375 °C. Over 375 °C, it increases with measuring temperature; e.g. the tolerances at 100 °C, 200 °C, 375 °C, 450 °C, and 1 000 °C are $\pm 1,5$ °C, $\pm 1,5$ °C, $\pm 1,5$ °C, $\pm 1,8$ °C, and $\pm 4,0$ °C respectively. Cables for TCs are located in lower temperature zone; the tolerances for type K/N extension and compensating cables are $\pm 1,5$ °C/ $\pm 2,5$ °C for Class 1/ Class 2 respectively. Tolerance classes of typical temperature sensors are provided in Table C.1. Temperature tolerance values of RTDs and TCs can be used as acceptance criteria for calibration tolerance (CT) in Table A.5.

Table C.1 – Tolerance classes of typical temperature sensors

	RTD (see NOTE 1) °C	TC (K,N type only) (see NOTES 2 and 3) °C
Tolerance class	$\pm (0,10 + 0,001\,7\, t)$ (class AA) $\pm (0,15 + 0,002\,0\, t)$ (class A) $\pm (0,30 + 0,005\,0\, t)$ (class B) $\pm (0,60 + 0,010\,0\, t)$ (class C)	For type K and N: whichever is greater $\pm (1,5 \text{ or } 0,004\,0\, t)$ (class 1) $\pm (2,5 \text{ or } 0,007\,5\, t)$ (class 2) $\pm (2,5 \text{ or } 0,015\,0\, t)$ (class 3)
NOTE 1 Tolerance classes are classified by IEC 60751 for RTDs.		
NOTE 2 Tolerance classes are classified by IEC 60584-1 for TCs.		
NOTE 3 Tolerance classes are classified by IEC 60584-3 for extension and compensating cables of TCs: Cables for type K / N types are $\pm 1,5\,^{\circ}\text{C}$ for class 1, $\pm 2,5\,^{\circ}\text{C}$ for class 2 respectively.		

C.4 Calibration tolerance

Temperature tolerance values of RTDs and TCs can be one of the acceptance criteria as a calibration tolerance (CT) in Table A.5. The cross-calibration tests can use the tolerances of the sensors as baseline acceptance criteria too.

Annex D (informative)

Development of a plant ageing management program of temperature sensors

D.1 General

IAEA NS.G-2.12 supplements and provides recommendations on meeting the requirements of SSR 2/1 and SSR 2/2. For an effective ageing management program (AMP) of NPP temperature sensors, various activities can be implemented and documents can be identified according to the requirement of SSR-2/2.

D.2 Key steps for AMP of temperature sensors

Using the methodology of ageing management shown in Figure 2, the plant organisation responsible for AMP of temperature sensors can take five key steps for ageing management activities as shown in Table D.1.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62765-2:2019

Table D.1 – Key steps for the ageing management program of temperature sensors

Key steps	Sources of information	CROSS REF	ACT	ID
Step 1 Understanding and identifying ageing of temperature sensors	Characteristics of the sensor	5.2		o
	Ageing mechanisms, stressors	Table 2		o
	Ageing effects	Table 1	o	
	Operational experience, R&D results	N/A	o	
	Current status, condition indicators, inspection/monitoring/maintenance history	N/A	o	
	Mitigation methods, remedial actions	Annex A	o	
Step 2 Development and optimization of activities for ageing management	Documentation of regulatory requirement and acceptance criteria	Table A.5 Table C.1		o
	Documentation of relevant activities	Plant specific	o	
	Improvement of effectiveness based on current understanding, self-assessment, and peer review	N/A	o	
Step 3 Operation	Operation with plant procedure and technical specification			o
	Environmental control	N/A	o	
	Operating history, including transient records	N/A	o	o
Step 4 Performance verification	Testing and calibration in a plant's lifetime	Annex A	o	o
	Surveillance and condition monitoring		o	o
	Assessment of functionality		o	
	Documentation		o	
Step 5 Maintenance	Preventive maintenance	N/A	o	
	Corrective maintenance	N/A	o	
	Replacement and spare parts management	Annex A	o	
	Maintenance history of the sensors in the industry			o
CROSS REF: Related clauses and tables of this document				
ACT: Activities at the specific plant to implement the AMP				
ID: Identification and understanding of documents existing in the plant				

D.3 Ageing management program

Responsible personnel for AMP can implement activities specific to the plant in the table. Information from plant and industry ageing-related documents can be identified and understood. Existing plant activities related to assessing sensor performance can also be identified and evaluated.

Activities for AMP of the plant-specific sensors should be implemented proactively with foresight and anticipation throughout the plant's lifetime. Based on attributes recommended by NS-G-2.12, an example of guidance sheet to be used by plant personnel for effective AMP of plant sensors is provided in Table D.2.

Table D.2 – An example of AMP guidance sheet for the sensors

No	Items	Description	Examples of activities		STEP
			ID	ACT	
1	Scope of AMP	U&ID	EQ test reports	Identifying , listing and understanding sensor-specific information	S1
2	Preventive actions	Service conditions	Parameters of process in FSAR	See Annex A	S3
		Control of ageing degradation	See Annex B	e.g. predictive maintenance by online monitoring	S3/S5
3-1	Detection of ageing effects	Methods to monitoring performance	Plant surveillance test results	Online monitoring	S3/S4
3-2	Monitoring and trending of ageing effects	Manual check-up with record Condition (online) monitoring with analysis	Online monitoring system with software for analysis	Cross-calibration and response time testing	S3/S4
3-3	Mitigation of ageing effects	Various activities with repair, maintenance by detection	Plant specific	(Similar to Item 2)	S3/S4
4	Acceptance criteria	Determination of corrective actions	Plant technical specification	e.g. Table A.5	S4
5	Corrective actions	Judgement on acceptance criteria	Plant specific	e.g. Table A.5	S5
6	Feedback of operating experience and R&D	Timely feedback from experience and providing the objective evidence to get into AMP	Plant specific	Plant specific	S2
7	Quality management	Documentation and verification of adequacy of corrective actions and preventive maintenance	Plant specific	Plant specific	S2
U&ID: Understanding(U) and identification of ageing mechanism, qualified life with margin, environmental conditions, and analytical model Identification(ID) of sensors; e.g. type, location, year of production, name of supplier ID: Identification and understanding of documents existing in the plant ACT: Activities at the plant to implement the AMP STEP: Steps shown in Table D.1					

The sensors in the scope of AMP can be clearly identified with the plant safety analysis report and EQ reports throughout the plant's lifetime. Preventive actions and mitigation of ageing effects to minimise, as well as control of ageing degradation can be predictive or preventive maintenance; e.g., radiation shielding, and air cooler installation with design modification. Detection, monitoring and trending, and mitigation of ageing effects can take advantage of online/ condition monitoring system.

An example of acceptance criteria for testing can use the tolerances of the sensors in Annex C. Clause A.5 provides information for corrective actions. Feedback from operating experience can provide objective evidence for inclusion in AMP. Quality management covers documentation and all of the quality assurance activities in the plant. AMP of temperature sensors can be coordinated and consistent with equipment qualification program, as well as periodic safety review program according to the requirement of the SSR-2/2. All of these activities contribute to an effective AMP.

Bibliography

IEC 61224:1993, *Nuclear reactors – Response time in resistance temperature detectors (RTDs) – In situ measurements*

IEC 61508-1:2010, *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 1: General requirements*

IEC 61508-2:2010, *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety related systems – Part 2: Requirements for electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*

IEC 61508-3:2010, *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety related systems – Part 3: Software requirements*

IEC 61508-4:2010, *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety related systems – Part 4: Definitions and abbreviations*

IEC 61513:2011, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – General requirement for systems*

IEC 61537:2006, *Cable management – Cable tray systems and cable ladder systems*

IEC 61888:2002, *Nuclear power plants – Instrumentation important to safety – Determination and maintenance of trip setpoints*

IEC TR 62096:2009, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Guidance for the decision on modernization*

IEC 62765-1:2015, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Management of ageing of sensors and transmitters – Part 1: Pressure transmitters*

IAEA GS-G-3.1:2006, *Application of the management system for facilities and activities*

IAEA-TECDOC-1147:2000, *Management of ageing of I&C equipment in NPPs*

IAEA-TECDOC-1169:2000, *Managing suspect and counterfeit items in nuclear industry*

ISA S67.06, *Response time testing of nuclear safety related instrument channels in NPPs*, 1984

ITS-90, *Guide to the Realization of ITS-90*, Bureau International des Poids et Mesures, Consultative Committee for Thermometry under the auspices of the International Committee for Weight and Measures

H.M.Hashemian, *Maintenance of Process Instrumentation in Nuclear Power Plants*, Springer, 2006

H.M.Hashemian, *Sensor Performance and Reliability*, the Instrumentation, Systems and Automation Society, 2005

NUREG/CR-4928, *Degradation of Nuclear Plant Temperature Sensors*, US NRC 1987

NUREG/CR-5560, *Ageing of Nuclear Plant Resistance Temperature Detectors*, US NRC 1990

NQA-1:2008, *Quality Assurance Requirements for Nuclear Facility Applications – Part 1: Requirements for Quality Assurance Programs for Nuclear Facilities*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	36
INTRODUCTION.....	38
1 Domaine d'application	41
2 Références normatives	42
3 Termes et définitions	43
4 Termes abrégés	46
5 Contexte technique.....	47
5.1 Généralités	47
5.2 Types de capteurs dans les normes IEC	47
5.2.1 Généralités	47
5.2.2 SR dans les normes IEC.....	48
5.2.3 Couples thermoélectriques dans les normes IEC	48
5.3 Interface entre les capteurs et le processus dans les normes IEC	48
5.3.1 Doigt de gant.....	48
5.3.2 Connecteurs de câbles pour les capteurs de température	49
5.3.3 Câbles des capteurs de température	49
5.3.4 Gaine des câbles des capteurs de température	49
5.4 Effets du vieillissement sur les capteurs de température	49
5.5 Facteurs de contrainte environnementaux	50
5.6 Techniques de détection du vieillissement des capteurs de température	51
6 Gestion du vieillissement des capteurs de température	52
6.1 Généralités	52
6.2 Méthodologie de gestion du vieillissement	52
6.3 Programme de gestion du vieillissement pour les capteurs de température	53
6.4 Identification et évaluation du vieillissement par le biais d'essais de vérification des performances	53
6.5 Intervalle d'essai et d'inspection	53
6.6 Lieu des essais	54
6.7 Etalonnage des équipements de mesure et d'essai (EM&E)	54
6.8 Résultats d'essai et d'inspection	54
6.9 Validation des méthodes d'essai	54
6.10 Classement du système de surveillance de l'état et de son logiciel	55
6.11 Remplacement des capteurs ou de leurs composants	55
7 Méthodes d'essai acceptables pour les capteurs	55
8 Relation entre la qualification initiale et la gestion du vieillissement des capteurs.....	55
Annexe A (informative) Vérification des performances des capteurs de température.....	56
A.1 Essais – Vérification des performances.....	56
A.2 Essai d'étalonnage des capteurs de température	57
A.2.1 Généralités	57
A.2.2 Comparaison des méthodes d'étalonnage classique et en ligne	58
A.3 Essais de temps de réponse	58
A.4 Incertitude des éléments pour les capteurs	58
A.5 Actions correctives pour les capteurs non opérationnels	59
A.6 Autres méthodes d'essai en ligne.....	60
A.7 Documentation d'étalonnage	61

Annexe B (informative) Normes de l'AIEA et de l'IEC relatives à la gestion du vieillissement des capteurs	62
Annexe C (informative) Tolérances des capteurs de température dans les normes internationales	63
C.1 Généralités	63
C.2 EIT-90.....	63
C.3 Classes de tolérance des capteurs de température	63
C.4 Tolérance d'étalonnage.....	64
Annexe D (informative) Développement d'un programme de gestion du vieillissement pour les capteurs de température d'une centrale.....	65
D.1 Généralités	65
D.2 Etapes clés du PGV des capteurs de température	65
D.3 Programme de gestion du vieillissement	66
Bibliographie.....	69
Figure 1 – Schéma d'un TC (issu de l'IEC 62651)	48
Figure 2 – Méthodologie conceptuelle des processus de gestion du vieillissement.....	53
Tableau 1 – Exemples d'effets du vieillissement et leurs causes possibles	50
Tableau 2 – Exemples de facteurs de contrainte environnementaux avec leurs conséquences possibles	51
Tableau A.1 – Aspects de vérification des essais de performance	56
Tableau A.2 – Essai de type, essai individuel de série et essai complémentaire pour les SR.....	57
Tableau A.3 – Comparaison des problèmes liés aux méthodes d'étalonnage	58
Tableau A.4 – Exemples de problèmes d'incertitude pour les SR	59
Tableau A.5 – Exemples d'actions exigées et critères d'acceptation	60
Tableau B.1 – Normes de l'AIEA relatives à la gestion du vieillissement	62
Tableau B.2 – Normes de l'IEC relatives à la gestion du vieillissement des capteurs	62
Tableau C.1 – Classes de tolérance des capteurs de température types.....	64
Tableau D.1 – Etapes clés du programme de gestion du vieillissement des capteurs de température	66
Tableau D.2 – Exemple de fiche de recommandations pour le PGV des capteurs	67

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE IMPORTANTS POUR LA SÛRETÉ – GESTION DU VIEILLISSEMENT DES CAPTEURS ET DES TRANSMETTEURS –

Partie 2: Capteurs de température

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. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de 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.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable 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 dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit 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 n'est responsable 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, 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, 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 ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 62765-2 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.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45A/1218/FDIS	45A/1227/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 internationale.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62765, publiées sous le titre général *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Gestion du vieillissement des capteurs et des transmetteurs*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document 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 au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62765-2:2019

INTRODUCTION

a) Contexte technique, questions importantes et structure de la norme

Alors que la majorité des centrales nucléaires de puissance (CNP) ont plus de 30 ans, la gestion du vieillissement des capteurs de température est un sujet pertinent, en particulier pour les centrales qui ont obtenu une extension de leur autorisation d'exploitation ou pour celles qui l'envisagent. La présente norme est destinée à être utilisée par les exploitants de centrales nucléaires, les évaluateurs de système, les fournisseurs et les régulateurs. Dans le système international de mesure de la température, l'échelle des températures a été mise à jour conformément à la norme EIT-90 depuis sa parution en 1990. Il convient donc que la présente norme aborde l'échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) afin de couvrir l'étalonnage des matériels de mesure et d'essai pour les capteurs de température.

b) Position de la présente norme dans la série de normes du SC 45A de l'IEC

L'IEC 62765 est le document du SC 45A de l'IEC de troisième niveau qui comprend plusieurs parties et qui traite de la question particulière de la gestion du vieillissement des capteurs et des transmetteurs utilisés dans les centrales nucléaires de puissance (CNP) pour les systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande (I&C) importants pour la sûreté. La Partie 2 de l'IEC 62765 est dédiée aux capteurs de température.

La norme IEC 62342 est le document de deuxième niveau du SC 45A de l'IEC qui couvre le domaine de la gestion du vieillissement des systèmes d'instrumentation nucléaire utilisés dans les centrales nucléaires de puissance pour accomplir les fonctions importantes pour la sûreté. L'IEC 62342 est l'introduction à une série de normes qui sera établie par le SC 45A de l'IEC pour couvrir la gestion du vieillissement des composants ou des systèmes d'I&C particuliers tels que les systèmes de câbles électriques (IEC 62465) et les capteurs et les transmetteurs (IEC 62765).

L'IEC 62765-2 doit être lue conjointement avec l'IEC 62342 et l'IEC TR 62096; ce dernier est le rapport technique pertinent du SC 45A de l'IEC et fournit des recommandations pour la décision de modernisation lorsque les techniques de gestion du vieillissement ne conviennent plus. Pour plus d'informations sur la série de normes du SC 45A de l'IEC, se référer au point d) de cette introduction.

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

Il est important de noter que la présente norme n'établit pas d'exigence fonctionnelle supplémentaire pour les systèmes de sûreté. Les mécanismes de vieillissement doivent être empêchés et donc identifiés par des mesures de performance dans le but de réduire le plus possible leur impact sur la fiabilité des capteurs. Les aspects pour lesquels la présente norme a fourni des recommandations et des limites particulières sont:

- les critères d'évaluation du vieillissement des capteurs de température dans les centrales nucléaires de puissance;
- les étapes à suivre pour établir les exigences d'essai des capteurs de température dans le cadre d'un programme de gestion du vieillissement des systèmes d'instrumentation des centrales nucléaires de puissance; et
- les relations entre les analyses de qualification et le programme de gestion du vieillissement ayant trait aux capteurs de température.

Il est reconnu que les techniques d'essai et de surveillance utilisées pour évaluer l'état de vieillissement des capteurs et des transmetteurs dans les centrales nucléaires de puissance sont en phase de développement rapide et qu'il n'est pas possible pour une norme telle que la présente norme de faire référence directement à l'ensemble des techniques et technologies modernes.

La présente norme identifie les exigences minimales visant à garantir que les impacts possibles sur la sûreté des centrales nucléaires de puissance dus au vieillissement des capteurs de température de ces centrales peuvent être identifiés et que les actions

appropriées ont été mises en œuvre afin de démontrer que la sûreté de l'installation ne sera pas dégradée. Afin de garantir la pertinence de la présente norme pour les années à venir, l'accent a été mis sur les questions de principe plutôt que sur les technologies particulières.

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

Les documents de niveau supérieur de la série de normes produites par le SC 45A de l'IEC sont les normes IEC 61513 et IEC 63046. L'IEC 61513 traite des exigences générales relatives aux systèmes et équipements d'instrumentation et de contrôle-commande (systèmes d'I&C) utilisés pour accomplir les fonctions importantes pour la sûreté des centrales nucléaires. L'IEC 63046 fournit les exigences générales relatives aux systèmes d'alimentation électrique des centrales nucléaires, y compris les alimentations des systèmes d'I&C. L'IEC 61513 et l'IEC 63046 doivent être utilisées conjointement et au même niveau. L'IEC 61513 et l'IEC 63046 composent la série de normes produites par le SC 45A de l'IEC et constituent un cadre complet qui établit les exigences générales pour les systèmes d'instrumentation, de contrôle-commande et électriques des centrales nucléaires de puissance.

L'IEC 61513 et l'IEC 63046 font directement référence aux autres normes du SC 45A de l'IEC traitant de sujets génériques, tels que la catégorisation des fonctions et le classement des systèmes, la qualification, la séparation, la défense contre les défaillances de cause commune, la conception des salles de commande, la compatibilité électromagnétique, la cybersécurité, les aspects logiciels et matériels relatifs aux systèmes numériques programmables, la coordination des exigences de sûreté et de sécurité, ainsi que la gestion du vieillissement. Il convient de considérer que les normes référencées directement au second 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 pas référencées directement par l'IEC 61513 ou l'IEC 63046, se rapportent à des matériels, des méthodes ou des activités spécifiques. Généralement, ces documents, qui font référence aux documents de deuxième niveau pour les activités génériques, peuvent être utilisés de façon isolée.

Le quatrième niveau est une extension de la série de normes du SC 45A de l'IEC; il correspond aux rapports techniques, qui ne sont pas des documents normatifs.

Les normes produites par le SC 45A de l'IEC mettent en œuvre et décrivent de manière cohérente les principes de sûreté et de sécurité fondamentaux énoncés dans les normes de sûreté applicables de l'AIEA et dans les documents pertinents de la Collection Sécurité nucléaire (CSN) de l'AIEA. Cela inclut en particulier le document d'exigences SSR-2/1 de l'AIEA qui établit les exigences de sûreté relatives à la conception des centrales nucléaires de puissance, le Guide de sûreté SSG-30 de l'AIEA qui traite du classement de sûreté des structures, systèmes et composants des centrales nucléaires de puissance, le Guide de sûreté SSG-39 de l'AIEA qui aborde la conception des systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande des centrales nucléaires de puissance, le Guide de sûreté SSG-34 de l'AIEA qui concerne la conception des systèmes d'alimentation électrique des centrales nucléaires de puissance et le Guide d'implémentation NSS17 qui porte sur la sécurité informatique des installations nucléaires. La terminologie et les définitions de sûreté et de sécurité utilisées dans les normes produites par le SC 45A sont conformes à celles utilisées par l'AIEA.

L'IEC 61513 et l'IEC 63046 ont adopté une présentation similaire à celle de la publication fondamentale de sûreté IEC 61508, avec un cycle de vie global et un cycle de vie des systèmes. Au niveau sûreté nucléaire, l'IEC 61513 et l'IEC 63046 sont l'interprétation des exigences générales de l'IEC 61508-1, de l'IEC 61508-2 et de l'IEC 61508-4 pour le secteur nucléaire. Dans ce domaine, l'IEC 60880, l'IEC 62138 et l'IEC 62566 correspondent à l'IEC 61508-3 pour le secteur nucléaire. L'IEC 61513 et l'IEC 63046 font référence aux normes ISO ainsi qu'aux documents GS-R partie 2, GS-G-3.1 et GS-G-3.5 de l'AIEA pour ce qui concerne l'assurance qualité (AQ). Au deuxième niveau de la sûreté nucléaire,

L'IEC 62645 est le document d'entrée pour les normes de sécurité produites par le SC 45A de l'IEC. Cette norme s'appuie sur les principes fondamentaux et les principaux concepts valides des normes génériques de sécurité, en particulier les normes ISO/IEC 27001 et ISO/IEC 27002; elle les adapte et les complète pour s'adapter au contexte du nucléaire et se coordonne à la série IEC 62443. Au deuxième niveau, l'IEC 60964 est le document d'entrée pour les normes sur les salles de commande produites par le SC 45A de l'IEC et l'IEC 62342 est le document d'entrée pour les normes sur la gestion du vieillissement.

NOTE 1 Il est fait l'hypothèse que des normes nationales ou internationales sont appliquées pour la conception des systèmes d'I&C qui mettent en œuvre des fonctions de sûreté conventionnelles (pour garantir la sécurité des travailleurs, la protection des biens, la prévention contre les dangers chimiques, la prévention contre les dangers liés à l'énergie des procédés, par exemple).

NOTE 2 En 2013, le domaine du SC 45A de l'IEC a été étendu aux systèmes électriques. En 2014 et en 2015, des discussions ont été menées avec le SC 45A de l'IEC afin de décider de la méthode et du domaine d'application des exigences générales pour la conception des systèmes électriques. Les experts du SC 45A de l'IEC ont recommandé l'élaboration d'une norme indépendante au même niveau que l'IEC 61513 afin d'établir les exigences générales des systèmes électriques. Le projet IEC 63046 a depuis été lancé pour répondre à cet objectif. La NOTE 2 figurant en introduction des normes produites par le SC 45A de l'IEC sera supprimée dès la parution de l'IEC 63046.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62765-2:2019

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE IMPORTANTS POUR LA SÛRETÉ – GESTION DU VIEILLISSEMENT DES CAPTEURS ET DES TRANSMETTEURS –

Partie 2: Capteurs de température

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62765 identifie les exigences minimales et les pratiques applicables pour la correction et la prévention des effets possibles sur la sûreté des centrales nucléaires de puissance (CNP) dus au vieillissement des capteurs de température, tels que les sondes à résistance (SR) et les couples thermoélectriques (TC) de ces centrales.

Le présent document fournit les stratégies, les exigences techniques et les pratiques recommandées pour la gestion du vieillissement des capteurs de température importants pour la sûreté dans les centrales nucléaires de puissance pour s'assurer que le vieillissement peut être identifié et que les actions pour y remédier sont mises en œuvre lorsque cela est nécessaire pour démontrer que la sûreté de l'installation ne sera pas dégradée. Le présent document est aligné avec l'IEC 62342 qui fournit des recommandations sur la gestion du vieillissement des systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande (I&C) importants pour la sûreté dans les centrales nucléaires de puissance.

La série de normes IEC 62765 couvre les transmetteurs de pression (Partie 1) et les capteurs de température (Partie 2). La Partie 1 traite des transmetteurs de pression (TP), des transmetteurs de niveau (TN) et des transmetteurs de débit (TD). La présente Partie 2 couvre les sondes à résistance (SR) et les couples thermoélectriques (TC) pour ce qui est de l'instrumentation et du contrôle-commande (I&C) importants pour la sûreté. Le détecteur de neutrons (Partie 3) est traité dans une norme distincte.

Les interfaces des capteurs de température avec les processus tels que les doigts de gants, les joints, les gaines, les câbles d'extension et de compensation et les connecteurs relèvent du domaine d'application du présent document. La gestion du vieillissement des capteurs de température utilisés comme EM&E ne relève pas du domaine d'application du présent document.

Les unités de température exprimées dans le présent document sont dérivées de l'échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) à des fins de cohérence avec les références normatives.

Les normes SSR-2/1 et SSR-2/2 de l'AIEA traitent des exigences pour la gestion du vieillissement lors de la conception et de la durée de vie de la centrale. Le Guide de sûreté SSG-39 recommande de tenir compte, lors de la conception, de la gestion du vieillissement propre au système d'I&C.

Les exigences relatives aux capteurs de température dans les domaines industriel et nucléaire indiquées dans les références normatives sont indispensables au présent document, même si ce dernier couvre la gestion du vieillissement des capteurs de température dans le but de satisfaire aux exigences.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte 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 60584-1:2013, *Couples thermoélectriques – Partie 1: Spécifications et tolérances en matière de FEM*

IEC 60584-3:2007, *Couples thermoélectriques – Partie 3: Câbles d'extension et de compensation – Tolérances et système d'identification*

IEC 60671:2007, *Centrales nucléaires de puissance – Systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande importants pour la sûreté – Essais de surveillance*

IEC 60737:2010, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation importante pour la sûreté – Capteurs de température (dans le cœur et le circuit primaire) – Caractéristiques et méthodes d'essais*

IEC 60751:2008, *Thermomètres à résistance de platine industriels et capteurs thermométriques en platine*

IEC/IEEE 60780-323:2016, *Installations nucléaires – Equipements électriques importants pour la sûreté – Qualification*

IEC 61226:2009, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Classement des fonctions d'instrumentation et de contrôle-commande*

IEC 61515:2016, *Câbles et couples thermoélectriques à isolation minérale dits "chemisés"*

IEC 62138:2004, *Centrales nucléaires – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Aspects logiciels des systèmes informatisés réalisant des fonctions de catégorie B ou C*

IEC 62342:2007, *Centrales nucléaires de puissance – Systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande importants pour la sûreté – Gestion du vieillissement*

IEC 62385:2007, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Méthodes d'évaluation des performances des chaînes d'instrumentation des systèmes de sûreté*

IEC 62397:2007, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Sondes à résistance*

IEC 62465:2010, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Gestion du vieillissement des systèmes de câbles électriques*

IEC/IEEE 62582-1:2011, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels électriques – Partie 1: Généralités*

IEC 62651:2013, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation importante pour la sûreté – Thermocouples: Caractéristiques et méthodes d'essai*

Normes de sûreté de l'AIEA n° SSR-2/1:2016, *Sûreté des centrales nucléaires: Conception – Prescriptions de sûreté particulières*

Normes de sûreté de l'AIEA n° SSR-2/2:2016, *Sûreté des centrales nucléaires: Mise en service et exploitation – Prescriptions de sûreté particulières*

Normes de sûreté de l'AIEA n° NS-G-2/12:2009, *Ageing management for nuclear power plants: safety guide* (disponible en anglais seulement)

Guide de sûreté de l'AIEA n° SSG-39:2016, *Design of instrumentation and control systems for nuclear power plants* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC 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>

3.1

ajustage <d'un appareil de mesure>

ensemble des opérations réalisées sur un appareil de mesure pour qu'il fournisse des indications données correspondant à des valeurs données du mesurande

Note 1 à l'article: Un ajustage peut être réalisé dans le cadre d'un étalonnage croisé des capteurs de température de la chaîne de mesure de température.

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-03-16]

3.2

étalonnage

ensemble des opérations établissant, dans les conditions spécifiées, la relation qui existe entre les valeurs de grandeurs indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure, ou les valeurs représentées par une mesure matérialisée ou par un matériau de référence, et les valeurs correspondantes réalisées par des normes de mesure

[SOURCE: Glossaire de sûreté de l'AIEA, édition 2016]

3.3

diagramme d'étalonnage

partie du plan muni de coordonnées, définie par l'axe des indications et par l'axe des mesures qui représente la réponse de l'appareil aux différentes valeurs du mesurande

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-01-10]

3.4

câbles de compensation

fabriqués à partir de conducteurs ayant une composition différente de celle du couple thermoélectrique correspondant. Ils sont désignés par la lettre "C" suivant la désignation du couple thermoélectrique, par exemple "KC". Dans certains cas, des tolérances différentes sont applicables pour le même couple thermoélectrique dans des gammes de températures différentes. Elles sont distinguées par une lettre supplémentaire, par exemple "KCA" et "KCB"

[SOURCE: IEC 60584-3:2007, 3.1.2]

3.5

étalonnage croisé

procédure d'intercomparaison des indications fournies par des appareils redondants (par exemple capteurs de température) pour identifier des capteurs hors tolérance, servant de moyen pour la vérification de l'étalonnage ou de l'identification des modifications d'étalonnage. Un terme plus approprié pour cette définition est la "validation croisée", mais le terme "étalonnage croisé" est le plus généralement utilisé

Note 1 à l'article: Un essai d'étalonnage des capteurs de température dans certaines CNP peut ne pas correspondre à cette définition, essentiellement du fait qu'un ajustage du canal de température pendant l'étalonnage croisé peut être admis dans les limites d'une valeur admissible prédéterminée.

[SOURCE: IEC 62385:2007, 3.6]

3.6

dérive

changement de l'indication d'un appareil de mesure, généralement lent, continu, pas nécessairement dans le même sens et non lié à un changement du mesurande

Note 1 à l'article: Les termes "stabilité" et "décalage" sont parfois utilisés comme synonymes de "dérive".

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-06-13]

3.7

brouillage électromagnétique

EMI

trouble apporté au fonctionnement d'un appareil, d'une voie de transmission ou d'un système par une perturbation électromagnétique

Note 1 à l'article: L'abréviation "EMI" est dérivée du terme anglais développé correspondant "electromagnetic interference".

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-06]

3.8

câbles d'extension et de compensation

câbles utilisés pour les connexions électriques entre les terminaisons ouvertes d'un couple thermoélectrique et la jonction de référence dans les installations où les conducteurs du couple thermoélectrique ne sont pas connectés directement à la jonction de référence. Les propriétés thermoélectriques des câbles d'extension et de compensation doivent être proches de celles du couple thermoélectrique correspondant

[SOURCE: IEC 60584-3:2007, 3.1]

3.9

câbles d'extension

câbles fabriqués à partir d'un conducteur ayant la même composition nominale que ceux du couple thermoélectrique correspondant. Ils sont désignés par la lettre "X" suivant la désignation du couple thermoélectrique, par exemple "JX"

[SOURCE: IEC 60584-3:2007, 3.1.1]

3.10

mesurande

grandeur particulière soumise à mesurage

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-01-03]

3.11**thermomètre à résistance de platine**

TRP

dispositif sensible à la température, consistant en une ou plusieurs résistances de platine sensibles avec une gaine de protection, des fils internes de connexion et des bornes externes pour permettre la connexion d'instruments électriques de mesure. Des moyens de montage et des têtes de connexion peuvent être inclus. Ne sont pas inclus les tubes de protection séparés ou les puits thermométriques

Note 1 à l'article: Le terme TRP fait également référence à la "sonde à résistance (SR)".

[SOURCE: IEC 60751:2008, 3.5]

3.12**sonde à résistance**

SR

détecteur généralement constitué d'un fût cylindrique en acier inoxydable protégeant une résistance en platine dont la résistance varie avec la température. Ce détecteur est placé dans le conduit contenant le fluide dont la température est ainsi mesurée. Il peut être directement immergé dans le fluide ou protégé par une enveloppe intermédiaire appelée doigt de gant

[SOURCE: IEC 62397:2007, 3.5]

3.13**temps de réponse**

temps mis par un composant pour atteindre un état de sortie donné 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, édition 2016]

3.14**erreur d'autoéchauffement**

erreur liée à l'élévation de l'indication de température relative à la puissance dissipée dans le capteur

[SOURCE: IEC 62397:2007, 3.7]

3.15**capteur**

élément de mesure; partie d'un appareil de mesure ou d'une chaîne de mesure qui est directement soumise au mesurande et qui génère un signal lié à la valeur du mesurande

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-05-01]

3.16**couple thermoélectrique**

TC

paire de conducteurs faits de matériaux différents assemblés à l'une de leurs extrémités, afin de former un ensemble utilisable pour la mesure de température par effet thermoélectrique

Note 1 à l'article: L'abréviation "TC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "thermocouple".

[SOURCE: IEC 60584-1:2013, 2.3]

3.17

effet thermoélectrique

effet Seebeck

production d'une force électromotrice (FEM) provoquée par la différence de température entre les deux liaisons de métaux ou d'alliages différents constituant un même circuit

Note 1 à l'article: Le terme "Seebeck" fait également référence à l'"effet thermoélectrique".

[SOURCE: IEC 60584-1:2013, 2.1]

3.18

doigt de gant

enveloppe de protection des capteurs de température (SR et TC). Le doigt de gant est utilisé pour faciliter le remplacement des capteurs de température

[SOURCE: IEC 62385:2007, 3.19]

3.19

tolérance d'une SR

écart de température initial maximal admissible exprimé en °C par rapport aux valeurs nominales de température/résistance dans la SR

3.20

tolérance d'un TC

écart initial maximal admissible par rapport à la spécification de FEM du couple thermoélectrique

Note 1 à l'article: La tolérance est exprimée en température, en °C.

4 Termes abrégés

VTQM	Valeur telle que mesurée
VA	Valeur admissible
PGV	Programme de gestion du vieillissement
TE	Tolérance d'étalonnage
EDD	Événement de dimensionnement
FEM	Force électromotrice
EMI (Electromagnetic Interference)	Brouillage électromagnétique
EQ (Equipment Qualification)	Qualification d'un matériel
FSAR (Final Safety Analysis Report)	Rapport final d'analyse de sûreté
HELB (High Energy [Steam] Line Break)	Rupture de tuyauterie de haute énergie (vapeur)
RI	Résistance d'isolement
EIT-90	Echelle internationale de température de 1990
LCSR (Loop Current Step Response)	Réponse à un échelon du courant de boucle
MIMS (Mineral Insulated Metal Sheathed)	A isolation minérale dit "chemisé"
EM&E	Équipement de mesure et d'essai
CNP	Centrale nucléaire de puissance
TRP	Thermomètre à résistance de platine
PT (Pressure Transmitter)	Transmetteur de pression
R&D	Recherche et développement
SR	Sonde à résistance

AQ	Assurance qualité
TC (Thermocouple)	Couple thermoélectrique
V&V	Vérification et validation

5 Contexte technique

5.1 Généralités

Le document SSR-2/1 de l'AIEA décrit les exigences pour la gestion du vieillissement lors de la conception pour garantir la sûreté de fonctionnement de la centrale tout au long de sa durée de vie. Il est également nécessaire de prévoir une marge de conception pour prendre en compte le mécanisme de vieillissement, la fragilisation neutronique, l'usure, mais également la possibilité de dégradation due au vieillissement. Le document SSR-2/2 exige également la mise en place d'un programme de gestion du vieillissement efficace pendant la durée de vie utile de la centrale. Les 6.135 à 6.152 du Guide de sûreté SSG-39:2016 recommandent de tenir compte, lors de la conception, de la gestion du vieillissement propre aux systèmes d'I&C dans le but de satisfaire aux exigences du document SSR-2/1.

Les exigences de référence pour la gestion du vieillissement ont pour but de comprendre et d'identifier le phénomène de vieillissement, qui couvre le mécanisme de vieillissement, les causes et les effets possibles sur les capteurs de température. L'Annexe A répertorie les différents types d'essais de vérification des performances visant à identifier une dégradation lors du cycle de vie et à évaluer un mécanisme de vieillissement. L'IEC 62342 traite de l'aspect général de la gestion du vieillissement des instruments, notamment des capteurs de température, tandis que l'IEC 60737 et les autres normes répertoriées à l'Annexe B couvrent les caractéristiques et les méthodes d'essai des capteurs de température. L'Annexe B résume les normes AIEA et IEC existantes portant sur la gestion du vieillissement.

Les essais de performance décrits à l'Annexe A sont importants, car ils peuvent détecter les effets du vieillissement. Les critères d'acceptation des essais pour les capteurs de température constituent un élément essentiel des programmes de gestion du vieillissement (PGV); il convient de comprendre ces critères afin d'identifier les effets du vieillissement, d'évaluer le problème du vieillissement et de mettre en place les actions correctives. L'Annexe C répertorie les tolérances de température spécifiées pour les capteurs de température, qui servent de base aux critères d'acceptation des essais d'étalonnage. L'Annexe D présente les étapes clés, ainsi qu'un exemple de fiche de PGV.

5.2 Types de capteurs dans les normes IEC

5.2.1 Généralités

Les TC et les SR sont tous deux utilisés pour mesurer la température d'un fluide, d'un gaz ou de la vapeur lors de l'exploitation des CNP. Le choix entre un TC et une SR dépend de leur utilisation et des exigences de précision, de temps de réponse, de répétabilité, de linéarité et d'autres facteurs.

Les différences entre les PT et les capteurs de température en termes de précision ou de tolérance sont les suivantes:

- expression de la précision des PT: centile pour l'ensemble d'une plage, identique au sein d'une même plage;
- expression de la précision des capteurs de température: différente au sein d'une même plage, mais constante au sein d'une plage de températures donnée et dépendante de manière linéaire de la mesure des températures hors plage.

5.2.2 SR dans les normes IEC

Une SR se compose d'un fil bobiné ou d'une couche de métal pur, généralement le platine, dont la résistance varie en fonction de la température. L'IEC 60737 décrit les exigences pour les essais de qualification et autres essais de type (de conception) des capteurs de température dans les CNP. L'IEC 60751 spécifie les tolérances de température pour chaque classe de SR, la relation qui existe entre la température et la résistance (à l'aide d'un diagramme d'étalonnage de référence) ainsi que les critères d'acceptation des essais de type et des essais individuels de série. L'IEC 60751 est largement utilisée comme norme pour les SR industrielles. L'IEC 62397 spécifie la qualification environnementale et d'autres exigences pour les SR dans les CNP.

5.2.3 Couples thermoélectriques dans les normes IEC

Les couples thermoélectriques sont des éléments thermosensibles qui convertissent la différence de température en tension électrique. Le principe se base sur la mesure d'une tension FEM entre deux conducteurs différents. Le Métal A et le Métal B de la Figure 1 ont un potentiel de contact, c'est-à-dire une FEM entre eux; cette FEM varie en fonction des variations de température. Le joint froid (T_c) est maintenu à une température de référence, tandis que le joint chaud (T_h) est raccordé à une sonde à des fins de mesure, comme représenté à la Figure 1.

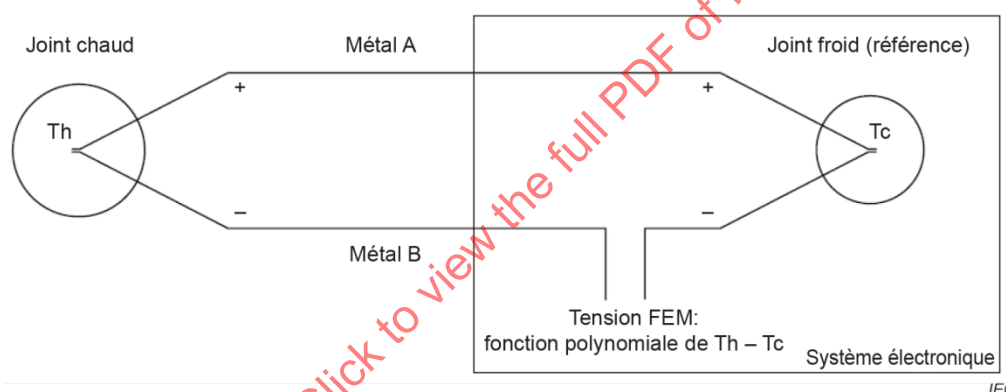


Figure 1 – Schéma d'un TC (issu de l'IEC 62651)

L'IEC 60584-1:2013 couvre la plupart des caractéristiques relatives aux TC:

- L'Annexe A traite des spécifications de FEM pour les températures.
- L'Article 5 et le Tableau 12 abordent les tolérances des TC pour les types R, S, B, J, T, E, K, N et A.
- L'Annexe C fournit des informations utiles concernant le choix d'un type de TC en conditions environnementales différentes, en indiquant notamment les effets du rayonnement neutronique.

L'IEC 61515:2016 traite des câbles et couples thermoélectriques à isolation minérale dits "chemisés" (MIMS). Dans le domaine nucléaire, l'IEC 62651 spécifie les caractéristiques et les méthodes d'essai des TC.

5.3 Interface entre les capteurs et le processus dans les normes IEC

5.3.1 Doigt de gant

Un capteur de température, une SR et un couple thermoélectrique peuvent être utilisés soit en contact direct avec le processus à mesurer (nus), soit à l'intérieur d'un doigt de gant, qui peuvent protéger les capteurs des conditions d'environnement.

Le B.2.1 et l'Article C.6 de l'IEC 62342:2007 traitent des effets du vieillissement et de la dégradation des performances du temps de réponse dus à un problème d'interface du doigt de gant.

5.3.2 Connecteurs de câbles pour les capteurs de température

Les connecteurs de câbles des SR peuvent faire partie intégrante de l'assemblage de la SR avec les joints pour la connexion électrique au câble de la SR. Pour la connexion au câble d'un TC, un joint peut être utilisé pour connecter les câbles de TC aux câbles d'extension/de compensation.

L'IEC 62651 spécifie les exigences de conception, d'installation et de fonctionnement des connecteurs de câbles des TC. Le B.4.3 de l'IEC 62342:2007 traite de la gestion du vieillissement des connecteurs.

5.3.3 Câbles des capteurs de température

Les caractéristiques des câbles des capteurs de température dépendent du type des capteurs. Une SR utilise un câble d'instrumentation normalisé. Toutefois, les matériaux et les caractéristiques des câbles des TC sont différents de ceux des SR.

Pour obtenir un exemple de couple thermoélectrique de type K, la Figure 1 présente les câbles de TC qui se composent d'un câble positif (métal A, KP) et d'un câble négatif (métal B, KN). Le signal de FEM peut être transmis à l'aide de câbles d'extension et de compensation à la partie traitement du signal de température. Les alliages de métaux des câbles d'extension et de compensation peuvent être différents de ceux des câbles de couple thermoélectrique de type K (KP et KN, par exemple).

Les 6.4.3.1.2 à 6.4.3.1.3 de l'IEC 62651:2013 décrivent les exigences d'installation des câbles de TC dans les CNP. Le Tableau 1 de l'IEC 60584-3:2007 spécifie les tolérances des différents types de câbles d'extension/de compensation. L'IEC 62465 traite des essais électriques pour les câbles de SR, qui se composent d'un essai temporel de réflectométrie (ETR) et d'un essai de résistance d'isolement (RI) en rapport avec la gestion du vieillissement des câbles.

5.3.4 Gaine des câbles des capteurs de température

La gaine est l'enveloppe qui protège le câble d'un capteur de température. Un câble de TC chemisé est enrobé d'une isolation minérale au sein d'un tube de protection en métal étanche au gaz (gaine), avec deux fils ressortis à travers un joint étanche à l'humidité servant à la prise de mesure.

L'IEC 60737 couvre les gaines des SR et des TC dans les CNP. L'IEC 61515:2016 définit les exigences pour les câbles MIMS simplex, duplex et triplex utilisés comme conducteurs à base de métaux usuels de types K, N, etc.

5.4 Effets du vieillissement sur les capteurs de température

Le vieillissement des capteurs de température peut causer des erreurs de mesure, des signaux erratiques, des pics, du bruit, la dégradation du temps de réponse et d'autres anomalies. Les effets du vieillissement peuvent aussi fausser la qualification environnementale exigée pour un fonctionnement en environnement hostile en présence de conditions accidentelles. Le flux de neutrons peut affecter les alliages du couple thermoélectrique, entraînant des changements de structure et des erreurs de mesure de la FEM. Sur une période donnée, les vibrations et les chocs mécaniques induits par le débit pouvant se produire en service normal peuvent provoquer des craquelures au niveau des joints du capteur de température permettant à l'humidité de s'infiltrer dans le capteur, ce qui peut affecter les mesures affichées par le capteur. Le Tableau 1 donne des exemples d'effets du vieillissement et leurs causes possibles. Le 6.145 du Guide de sûreté SSG-39:2016 donne

un exemple de méthode permettant d'expliquer les effets du vieillissement, et le 6.144 recommande des techniques d'identification des mécanismes de vieillissement.

Tableau 1 – Exemples d'effets du vieillissement et leurs causes possibles

Effets du vieillissement		Causes possibles
Effets sur le capteur	Variation de la résistance d'isolement (RI) du capteur, provoquant une modification de la précision de sortie du capteur	Fragilisation et craquelure des joints d'étanchéité dues aux rayonnements et à la chaleur Force induite par les chocs mécaniques ou les vibrations
Effets sur les câbles ou les fils	SR: variation de la résistance d'isolement (RI) du câble d'extension de la SR, provoquant une modification de la précision de sortie de la SR	Défauts de fabrication Défaut de la mousse chimique contenue dans la tête du connecteur Cycles de pression Fluctuations du débit, vibrations Corrosion-érosion due aux produits et réactions chimiques
	TC: variation de la résistance d'isolement (RI) des câbles d'extension et de compensation, provoquant une variation de la précision de sortie du TC	
Effets sur le doigt de gant	Changement du temps de réponse du capteur de température dû à un problème lié au doigt de gant Fuite de la paroi Mauvais contact des capteurs	Erosion et corrosion dues aux produits chimiques Force due au débit des fluides Chocs mécaniques ou force de cisaillement

La détection, la surveillance et l'atténuation des effets du vieillissement sur les capteurs de température des centrales sont les principaux constituants du PGV, comme indiqué dans le Tableau D.2.

5.5 Facteurs de contrainte environnementaux

Les facteurs de contrainte environnementaux affectent les composants des capteurs de température, tels que les joints des SR ou les câbles de TC chemisés. Ces facteurs de contrainte susceptible d'endommager les capteurs des CNP sont décrits dans le Tableau 2.

**Tableau 2 – Exemples de facteurs de contrainte environnementaux
avec leurs conséquences possibles**

Facteurs de contrainte de vieillissement	Conséquence possible
Rayonnement, notamment transmutation neutronique	Fragilisation et craquelure des joints d'étanchéité permettant à l'humidité de s'infiltrer dans l'isolation des capteurs (rayonnement proche du cœur du réacteur) Changements de la composition et de la structure des matériaux provoquant des erreurs de mesure de la FEM
Cycles de chauffage/température	Défaillance des joints permettant à l'humidité de s'infiltrer (fissures microscopiques dues à la dilatation et à la contraction thermiques)
Humidité	Défaillance des joints due à l'infiltration de l'humidité qui peut réduire la rigidité diélectrique des isolateurs
Transitoires de pression	Déformation des capteurs, joints, gaines ou doigts de gants
Fatigue vibratoire ou choc mécanique	Desserrage ou désintégration des composants des capteurs, y compris les doigts de gants, provoquant des erreurs de signaux
Produits chimiques/lubrifiants corrosifs	Usure, frottement et collage des contacts mécaniques tels que les joints ou les doigts de gants Changement de la composition de l'alliage des fils du TC: augmentation de la RI
NOTE Le Tableau 1 de l'IEC 62465:2010 contient des informations équivalentes sur les facteurs de contrainte affectant les câbles génériques dans les CNP.	

Le flux de neutrons affecte les alliages du couple thermoélectrique, entraînant des changements de composition et de structure des matériaux. En règle générale, les caractéristiques du type N ont été améliorées en conditions d'environnement où le flux de neutrons est élevé. Il est important de surveiller ces facteurs de contrainte environnementaux pour réaliser un PGV efficace. Le rapport de qualification d'un matériel (EQ), qui spécifie la durée de vie qualifiée et l'état des matériels, évalue les mécanismes de vieillissement pour une durée de vie qualifiée donnée; il s'agit de l'un des moyens efficaces du programme de gestion du vieillissement des capteurs de température dans les CNP. Les 6.4 et 6.5 de l'IEC 62651:2013 décrivent les facteurs de contrainte pour l'installation et le fonctionnement des TC dans les CNP. Les effets de la température maximale, des facteurs de contrainte environnementaux et du rayonnement neutronique sur les TC sont spécifiés à l'Annexe C de l'IEC 60584-1:2013 (et sont accompagnés de recommandations). Noter que les TC de types K et N sont recommandés pour utilisation à proximité d'un réacteur nucléaire, comme indiqué dans le Tableau C.1 de l'IEC 60584-1:2013. Le 4.4 et le Tableau 1 de l'IEC 62465:2010 traitent des différents facteurs de contrainte du vieillissement susceptibles d'endommager les câbles.

5.6 Techniques de détection du vieillissement des capteurs de température

Il convient que les essais de type initiaux ou d'installation fournissent les données de performance de base pour la gestion du vieillissement en ce qui concerne la vérification des performances des capteurs de température. Les essais de vérification des performances constituent une méthode de détection des effets du vieillissement sur les capteurs de température. Dans le cadre de la gestion de la qualité du PGV pour les capteurs de température, il convient de pouvoir tracer l'évaluation des effets et des mécanismes de vieillissement dans les rapports d'essai EQ pour le vieillissement des capteurs. Les inspections visuelles peuvent être utiles pour identifier les dommages aux doigts de gants dus à la corrosion ou la dégradation des joints. Les infiltrations d'humidité peuvent être détectées par des contrôles de la RI. Certains essais décrits à l'Annexe A peuvent être réalisés en utilisant des techniques de surveillance en ligne. La surveillance en ligne a l'avantage de permettre une détection précoce des problèmes de vieillissement. Pour plus d'informations sur les essais et la surveillance en ligne des capteurs, se référer à l'Article A.6 du présent document. La détection, la surveillance et l'atténuation des effets du vieillissement sur les capteurs de température des centrales sont les principaux constituants du PGV, comme indiqué dans le Tableau D.2.

6 Gestion du vieillissement des capteurs de température

6.1 Généralités

Le présent article fournit les exigences et les recommandations particulières pour établir les approches méthodologiques et les processus pratiques nécessaires à la gestion du vieillissement des capteurs de température en se basant sur l'IEC 62342 qui traite de la gestion du vieillissement des systèmes d'I&C généraux. Les exigences pour la gestion du vieillissement lors de la conception et pendant la durée de vie utile de la centrale sont décrites dans les documents SSR-2/1 et SSR-2/2 de l'AIEA. Pour satisfaire aux exigences, le document NS-G-2.12 de l'AIEA est fourni en complément et donne des recommandations pour la gestion du vieillissement. La compréhension et l'identification des effets du vieillissement sur les capteurs de température sont essentielles pour réaliser un programme de gestion du vieillissement (PGV) efficace avec les capteurs. La Figure 1 de l'IEC 62342:2007 présente les processus de gestion du vieillissement pour le matériel et les systèmes d'I&C; elle s'applique directement au processus de gestion du vieillissement des capteurs. Les processus généraux de gestion du vieillissement pour les systèmes d'I&C sont également décrits à l'Article 5 du document IAEA-TECDOC-1147:2000. L'IEC/IEEE 62582-1 spécifie les méthodes de surveillance de l'état des matériels visant à améliorer la précision et la répétabilité, et indique les formats normalisés à utiliser pour rendre compte des résultats. Outre le processus de gestion du vieillissement, le document NS-G-2.12 de l'AIEA recommande les étapes systématiques et le programme pour les activités propres à la centrale. Ces activités du PGV sont décrites à l'Annexe D du présent document.

6.2 Méthodologie de gestion du vieillissement

Il convient que la méthodologie de base de gestion du vieillissement des capteurs couvre les processus conceptuels suivants de façon itérative comme présenté à la Figure 2:

- a) Identification des effets du vieillissement: les effets du vieillissement présentés dans le Tableau 1 et les facteurs de contrainte environnementaux décrits dans le Tableau 2 doivent être identifiés et il convient de les comprendre. L'étape 1 du Tableau D.1 présente les sources d'informations pour l'identification.
- b) Evaluation des effets du vieillissement: Les performances affectées, identifiées et dégradées en raison du vieillissement doivent être évaluées. L'Annexe A identifie les méthodes de vérification des performances qui peuvent être utilisées pour détecter les effets liés au vieillissement; elle traite de la mise en œuvre de ces méthodes d'essai. Les étapes 2 et 3 du Tableau D.1 présentent les sources d'informations pour l'évaluation.
- c) Actions correctives et préventives: Des actions doivent être mises en œuvre afin de contrer les effets du vieillissement, qui ont un impact sur l'aptitude des capteurs à réaliser leurs fonctions importantes pour la sûreté. Le Tableau A.5, le Tableau D.1 (étape 5) et le Tableau D.2 (étapes 2 et 3) présentent des exemples d'activités et les sources d'informations pour les actions correctives.

Ces actions peuvent comprendre:

- le remplacement des capteurs et des câbles de capteurs, et la réduction des facteurs de contrainte;
- la mise en place d'essais complémentaires pour les composants montrant une dégradation ou un écart par rapport aux spécifications dues au vieillissement; et
- l'adaptation des caractéristiques fonctionnelles (réétalonnage, changement des valeurs de consigne, etc.) pour prendre en compte les dégradations acceptables liées au vieillissement.

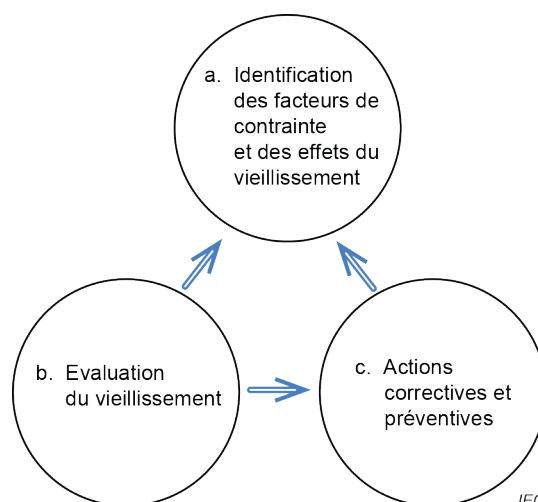


Figure 2 – Méthodologie conceptuelle des processus de gestion du vieillissement

6.3 Programme de gestion du vieillissement pour les capteurs de température

Conformément à la méthodologie des processus de gestion du vieillissement présentée à la Figure 2, l'organisation de la centrale chargée du PGV des capteurs peut réaliser cinq étapes clés dans le cadre des activités de gestion du vieillissement propres à la centrale, notamment l'identification des documents de la centrale, comme indiqué dans le Tableau D.1. Le Tableau D.2 répertorie les étapes essentielles des activités pour la mise en œuvre du PGV sous la forme d'un exemple de fiche de PGV.

6.4 Identification et évaluation du vieillissement par le biais d'essais de vérification des performances

Des essais de capteurs sont réalisés dans des CNP pour identifier les problèmes tels que les anomalies de signaux, établir des mesures de base servant de référence à la maintenance prédictive et évaluer le vieillissement des capteurs. Il convient d'appliquer les essais décrits à l'Annexe A. Il convient que les essais de vérification des performances couvrent:

- la vérification des performances statiques et dynamiques du capteur au cours d'essais périodiques et/ou par le biais d'une surveillance en ligne; et
- la vérification de la cohérence entre les données de processus corrélées ou les capteurs redondants.

Ces méthodes peuvent être utilisées lorsque la centrale est en exploitation, mais également lors d'un arrêt. Chaque méthode d'essai doit être validée conformément au 6.9. Afin d'identifier les conséquences des contraintes ou de détecter les dégradations des performances dues au vieillissement, les capteurs de température peuvent être soumis à divers essais conformément à l'IEC 60737 (SR et TC), l'IEC 62397 (SR) et l'IEC 62651(TC). Les rapports d'essai de qualification environnementale du mécanisme de vieillissement peuvent fournir des informations à utiliser comme critères d'acceptation de référence afin d'obtenir des résultats d'essai satisfaisants. La vérification des performances est l'une des cinq étapes essentielles du PGV des capteurs de température, comme décrit dans le Tableau D.2.

6.5 Intervalle d'essai et d'inspection

Les intervalles d'essai et d'inspection en conditions de fonctionnement ou de ravitaillement doivent être établis, afin de détecter les effets du vieillissement avant qu'ils ne conduisent à des performances non acceptables. Il convient de prendre en compte les facteurs suivants pour déterminer l'intervalle d'essai:

- l'âge et le type des SR/TC en conditions d'environnement (oxydation/réduction des produits chimiques, hydrogène ou produits chimiques sulfureux, neutrons/rayons gamma, température et humidité), indiqués aux 5.4 et 5.5;
- la méthode de détection d'un décalage des connecteurs, indiquée au 5.3.2;
- les recommandations du fabricant et les autres normes industrielles pour les capteurs et interfaces, indiquées au 5.3;
- la marge entre les caractéristiques de performances mesurées et les performances recherchées lors de l'essai de performance, indiquée à l'Annexe A;
- les tendances de dégradation, les taux de défaillance des capteurs et l'objectif de fiabilité, indiqués dans le Tableau D.2;
- les facteurs de contrainte environnementaux des capteurs, indiqués dans le Tableau 2; et
- la dérive admissible sur une période donnée (voir Tableau A.5).

L'intervalle d'essai est le paramètre de conception pertinent pour établir la réalisation des objectifs de fiabilité et de disponibilité conformément à l'IEC 60671.

6.6 Lieu des essais

Les essais peuvent être réalisés sur site, ou les capteurs peuvent être désinstallés et soumis à essai en laboratoire. La désinstallation et la réinstallation des capteurs ne sont pas conseillées en raison de la possible introduction de mécanismes de défaillance; les techniques sur site sont donc préférées.

6.7 Etalonnage des équipements de mesure et d'essai (EM&E)

Les EM&E destinés à l'étalonnage des capteurs de température doivent être dotés d'un certificat d'étalonnage valide et traçable conforme à une norme de mesure nationale ou internationale. L'incertitude de mesure des EM&E doit satisfaire à une norme de mesure nationale, ainsi qu'aux exigences du programme d'étalonnage spécifique à la centrale.

Selon les recommandations données au 5.34 du document GS-G-3.1:2006 de l'AIEA, il convient de définir les exigences d'étalonnage et l'intervalle entre les étalonnages des EM&E. Il convient également de nommer le personnel chargé de contrôler les EM&E. Pour la documentation d'étalonnage, se référer à l'Article A.7. La gestion du vieillissement des capteurs EM&E ne relève pas du domaine d'application du présent document.

6.8 Résultats d'essai et d'inspection

Les critères d'acceptation des essais et inspections doivent être définis à l'avance. Les résultats d'essai et d'inspection doivent être comparés aux critères d'acceptation. Si les résultats ne sont pas conformes aux critères d'acceptation, des actions correctives doivent être mises en place afin de résoudre le problème, comme indiqué dans l'exemple de fiche de PGV au Tableau D.2.

6.9 Validation des méthodes d'essai

Il convient de valider les méthodes d'essai des capteurs pour s'assurer que les résultats de l'essai correspondent bien à l'état des capteurs. Cette validation doit être documentée et il convient de prendre en compte les points suivants:

- une comparaison des méthodes d'essai avec les essais pertinents réalisés en laboratoire et/ou sur site pour établir la validité de la méthode;
- la justification théorique de la méthode d'essai; et
- les hypothèses faites et les conditions utilisées pour garantir la validité de la méthode d'essai ont été établies.

6.10 Classement du système de surveillance de l'état et de son logiciel

Les systèmes complémentaires de surveillance de l'état du PGV doivent être identifiés conformément à la procédure de classement de l'IEC 61226 en prenant en compte ses fonctionnalités ou sa base de conception. Un système de surveillance de l'état des capteurs réalisant des fonctions importantes pour la sûreté peut avoir un niveau de classement inférieur à celui des capteurs surveillés. Le logiciel installé sur le système de surveillance de l'état classé selon l'IEC 61226 doit satisfaire aux exigences de l'IEC 62138.

6.11 Remplacement des capteurs ou de leurs composants

Lorsqu'un capteur ou ses composants (joint mécanique ou gaine, par exemple) est remplacé, il convient de réaliser l'activité de gestion de la qualité spécifiée pour la centrale considérée. Le personnel qui a été correctement formé doit réaliser les activités liées à la gestion du vieillissement. Lors du remplacement d'un capteur ou de ses composants pour ce qui est du processus d'approvisionnement, il convient d'appliquer directement au présent document les exigences de gestion de la qualité du Guide de Sûreté n° GS-G-3.1 de l'AIEA. De plus, lors du remplacement de vieux composants ou de composants endommagés, il convient de faire particulièrement attention à la gestion des composants suspects ou de contrefaçon des capteurs, tels que présentés à l'Annexe III du document GS-G-3.1:2006 de l'AIEA et dans le document IAEA-TECDOC-1169.

7 Méthodes d'essai acceptables pour les capteurs

L'Annexe A fournit des exemples de méthodes qui peuvent être utilisées pour soumettre les capteurs de température des CNP à l'essai, tandis que l'Annexe C donne des exemples de critères d'acceptation pour les essais de capteurs. Ces méthodes peuvent être utilisées pour soumettre les capteurs de température des CNP à l'essai, à condition qu'elles respectent les exigences du présent document et qu'elles aient été validées par rapport aux critères de validation identifiés dans les normes internationales relatives aux méthodes, logiciels et équipements d'essai. Il convient d'appliquer l'IEC 60671 pour les essais de surveillance des capteurs. Les exigences de vérification des performances pour l'étalonnage, la vérification des canaux, les essais fonctionnels et les essais de temps de réponse des capteurs de température doivent être cohérentes avec l'IEC 62385.

8 Relation entre la qualification initiale et la gestion du vieillissement des capteurs

Les capteurs de température importants pour la sûreté à utiliser en environnement hostile dans les CNP sont généralement qualifiés selon l'IEC/IEEE 60780-323. Ces activités de qualification initiale visent à confirmer l'aptitude des capteurs d'une conception particulière à réaliser leurs fonctions de sûreté en conditions d'environnement accidentelles lorsqu'ils sont à la fin de leur vie qualifiée. Les essais de type pour les SR industrielles indiqués dans le Tableau A.2 peuvent être des essais de référence sous des conditions hostiles supplémentaires.

Ces essais de qualification seuls ne garantissent pas la fiabilité de service des capteurs durant la période de vie certifiée, à moins que les conditions environnementales prises par hypothèse soient maintenues pendant la durée de fonctionnement. Des essais périodiques, des inspections et des analyses des données d'essai, tels que ceux et celles indiqué(e)s dans le présent document, doivent donc être réalisés pour garantir la sûreté de la centrale. Il convient de remplacer les capteurs de température situés en environnement hostile dans la centrale, avant la fin de leur vie qualifiée qui a été calculée dans le cadre du programme EQ et/ou du PGV à l'Annexe D. Le 6.148 du Guide de sûreté SSG-39:2016 traite de la qualification progressive en ce qui concerne la durée de vie qualifiée.

Par ailleurs, les activités du PGV décrit à l'Annexe D peuvent être réalisées (telles que les essais, l'évaluation, l'inspection et la maintenance préventive des composants sensibles et remplaçables).

Annexe A (informative)

Vérification des performances des capteurs de température

A.1 Essais – Vérification des performances

La vérification des performances des capteurs de température est l'une des étapes clés du programme de gestion du vieillissement (PGV) décrit dans le Tableau D.1, et l'un des éléments essentiels du PGV permettant d'identifier, de détecter, de surveiller et de suivre l'évolution des effets du vieillissement, comme indiqué dans le Tableau D.2 de l'Annexe D.

Les performances des capteurs peuvent être classées selon deux fonctionnalités. L'une correspond au régime établi (précision) et l'autre au régime dynamique (temps de réponse). L'IEC 62385 aborde les détails de la vérification des performances par des essais et spécifie les exigences d'essai. Il convient de gérer le vieillissement des capteurs dans le but de maintenir les fonctionnalités ou les performances et la qualification des capteurs. Les performances des capteurs peuvent être vérifiées à un intervalle de surveillance spécifique à la centrale considérée. Ces méthodes d'essai peuvent également comprendre des moyens pour réaliser les essais sur site lorsque la centrale est en exploitation.

Les effets du vieillissement décrits dans le Tableau 1 et les facteurs de contrainte mentionnés dans le Tableau 2 peuvent être identifiés et validés dans le rapport d'essai EQ et/ou dans la spécification des capteurs des fournisseurs, avec l'évaluation du processus de vieillissement présentée à la Figure 2. Les étapes de vérification des essais de performance sont données dans le Tableau A.1 pour les capteurs génériques et dans le Tableau A.2 pour les SR.

Tableau A.1 – Aspects de vérification des essais de performance

	Conception, fabrication, installation	Exploitation
Catégorie d'essai	Essai de type (essai de conception) Essai individuel de série (essai en usine) Essai de mise en service	Essai canal (vérification) Essai fonctionnel Essais d'étalonnage, étalonnage croisé inclus Essais de temps de réponse Essais en ligne/sur site pour l'étalonnage et le temps de réponse
Intervalles d'essai	Exigences réglementaires Recommandation du fournisseur	Exigence de surveillance spécifiée pour l'installation Tendance de la dégradation Objectif de fiabilité
Evaluation des résultats d'essai	Essai de type d'évaluation: identification des composants sensibles au vieillissement	Evaluation des données collectées en conditions d'exploitation Suivi de l'évolution pour l'identification des composants sensibles au vieillissement
Exigences pour la gestion de la qualité	Documentation traçable des procédures et des enregistrements d'essai Etalonnage à l'aide des M&TE Qualification du personnel	

Il convient de valider les mécanismes de vieillissement dans les rapports de qualification des matériels remis par les fournisseurs, où une durée de vie qualifiée est définie avec une marge spécifiée.

Le Tableau A.2 fournit des exemples d'essais de SR industrielles. Les exigences d'essai définies à l'Article 8 de l'IEC 60737:2010 sont applicables aux capteurs de température des CNP. Chaque SR fabriquée est soumise à un essai individuel de série. Pour plus d'informations sur les essais des capteurs de température, se référer aux normes IEC 60751, IEC 60737 et IEC 62651.

Tableau A.2 – Essai de type, essai individuel de série et essai complémentaire pour les SR

	Essai individuel de série ou essai en usine pour l'ensemble des produits	Essai de type pour les échantillons de produit	Essai complémentaire
Tolérance de résistance	o	o	
Essai d'intégrité de la gaine	o	o	
Essai dimensionnel	o	o	
Essai de dérive à la limite de température supérieure		o	
Essai d'effet thermoélectrique		o	
Essai de cycles de température		o	
Essai d'autoéchauffement		o	
Essai de résistance d'isolement à des températures élevées		o	
Essai de temps de réponse thermique		o	
Essai d'hystérèse		o	
Profondeur d'immersion minimale		o	
Capacité entre la borne et la gaine à une fréquence de 1 kHz			o
Inductance à une fréquence de 1 kHz			o
Rigidité diélectrique			o
Essai de vibration			o
Essai de chute			o

La tolérance de température pour chaque classe de tolérance des SR et des TC indiquée dans le Tableau C.1 peut s'appliquer aux essais d'étalonnage lors de la conception, de la fabrication, de l'installation et de l'exploitation d'un nouveau capteur de température. Par ailleurs, la tolérance de température peut s'appliquer aux critères d'acceptation de référence pour l'étalonnage croisé, s'il y a lieu. L'Article 6 de l'IEC 60671:2007 définit les exigences pour les essais de surveillance des capteurs dans les CNP. L'IEC 61224 décrit le déroulement d'un essai sur site du temps de réponse pour les SR.

A.2 Essai d'étalonnage des capteurs de température

A.2.1 Généralités

L'essai d'étalonnage d'un capteur de température est généralement réalisé en laboratoire. Depuis quelque temps, l'étalonnage en ligne est disponible et acceptable avec certaines limitations. La différence entre les caractéristiques des capteurs de température et celles des transmetteurs de pression (PT) réside dans la méthode d'ajustage du capteur lors de l'étalonnage. La sortie d'un PT peut être ajustée dans une carte électronique intégrée, tandis que le capteur de température en lui-même est un composant passif sans dispositif d'ajustage. Pour plus d'informations sur les terminologies d'étalonnage, se référer aux