

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety –
Electrical equipment condition monitoring methods –
Part 5: Optical time domain reflectometry**

**Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande
importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels
électriques –
Partie 5: Technique de rétrodiffusion**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2015 IEC, Geneva, Switzerland

Copyright © 2015 IEEE

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing being secured. Requests for permission to reproduce should be addressed to either IEC at the address below or IEC's member National Committee in the country of the requester or from IEEE.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

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

About the IEC

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

About the IEEE

IEEE is the world's largest professional association dedicated to advancing technological innovation and excellence for the benefit of humanity. IEEE and its members inspire a global community through its highly cited publications, conferences, technology standards, and professional and educational activities.

About IEC/IEEE publications

The technical content of IEC/IEEE publications is kept under constant review by the IEC and IEEE. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum 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 - www.iec.ch/searchpub

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 more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 60 000 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: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety –
Electrical equipment condition monitoring methods –
Part 5: Optical time domain reflectometry**

**Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande
importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels
électriques –
Partie 5: Technique de rétrodiffusion**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.120.20

ISBN 978-2-8322-2704-6

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 and object	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	8
4 Abbreviations and acronyms	10
5 General description	10
6 Applicability and reproducibility	10
7 OTDR measurements procedure	11
7.1 General	11
7.2 Instrumentation	11
7.3 Measurement wavelengths	12
7.4 Calibration	12
7.5 Precautions for OTDR measurements	12
7.6 Conditioning	12
7.7 OTDR measurement	13
7.8 Measurement errors	15
7.9 Test report	15
Annex A (informative) Factors affecting the measurement of attenuation in fibre optic systems	16
A.1 General	16
A.2 Temperature and humidity	16
A.3 Bending	16
A.4 Transmission light power	16
A.5 Connector interface	16
Annex B (informative) Ageing and degradation of optical fibres in nuclear power plants	17
B.1 Factors affecting ageing	17
B.1.1 General	17
B.1.2 Thermal ageing	17
B.2 Ageing in ionising radiation	18
B.2.1 General	18
B.2.2 Increase of attenuation	18
Annex C (informative) Guidance on selection of parameters for the measurement	22
C.1 Selection of distance range	22
C.2 Selection of pulse duration and definition of dead zone	22
C.3 Selection of wavelength	22
C.4 Selection and position of markers	22
C.5 Selection of method for averaging	24
C.6 Setting of the vertical and horizontal scale (v-zoom, h-zoom)	24
C.7 Vertical and horizontal shifts	24
C.8 Laser on/off	25
C.9 Setting of <i>IOR</i> , group index	25
C.10 Use of attenuator	25
Bibliography	26

Figure 1 – Block functions of the OTDR	12
Figure 2 – A typical OTDR waveform – Backscattered power vs distance (km).....	14
Figure 3 – Examples of faults.....	14
Figure B.1 – A typical OTDR-trace	17
Figure B.2 – RIA of different fibre types	19
Figure B.3 – Example for RIA and its wavelength dependence of an optical fibre	20
Figure C.1 – Markers for measuring attenuation.....	23
Figure C.2 – Markers for measuring splice loss.....	23
Figure C.3 – LSA and 2PA as approximation methods	24
Figure C.4 – Fibre signature with the attenuator set at 0 dB and 5 dB, respectively	25

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**NUCLEAR POWER PLANTS –
INSTRUMENTATION AND CONTROL IMPORTANT TO SAFETY –
ELECTRICAL EQUIPMENT CONDITION MONITORING METHODS –****Part 5: Optical time domain reflectometry****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organisation for standardisation comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardisation 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 organisations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEEE Standards documents are developed within IEEE Societies and Standards Coordinating Committees of the IEEE Standards Association (IEEE-SA) Standards Board. IEEE develops its standards through a consensus development process, approved by the American National Standards Institute, which brings together volunteers representing varied viewpoints and interests to achieve the final product. Volunteers are not necessarily members of IEEE and serve without compensation. While IEEE administers the process and establishes rules to promote fairness in the consensus development process, IEEE does not independently evaluate, test, or verify the accuracy of any of the information contained in its standards. Use of IEEE Standards documents is wholly voluntary. IEEE documents are made available for use subject to important notices and legal disclaimers (see <http://standards.ieee.org/IPR/disclaimers.html> for more information).

IEC collaborates closely with IEEE in accordance with conditions determined by agreement between the two organisations. This Dual Logo International Standard was jointly developed by the IEC and IEEE under the terms of that agreement.

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

International Standard IEC/IEEE 62582-5 has been prepared by subcommittee 45A: Instrumentation, control and electrical systems of nuclear facilities, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation, in cooperation with the Nuclear Power Engineering Committee of the IEEE Power & Energy Society¹, under the IEC/IEEE Dual Logo Agreement between IEC and IEEE.

This publication is published as an IEC/IEEE Dual Logo standard.

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

FDIS	Report on voting
45A/1008A/FDIS	45A/1021/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC/IEEE 62582 series, published under the general title *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Electrical equipment condition monitoring methods*, can be found on the IEC website.

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

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

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

¹ A list of IEEE participants can be found at the following URL:
http://standards.ieee.org/downloads/62582/62582-5-2015/62582-5-2015_wg-participants.pdf.

INTRODUCTION

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

This IEC/IEEE standard specifically focuses on optical time domain reflectometer methods for condition monitoring for the management of ageing of optical fibres and cables in electrical equipment installed in nuclear power plants.

This IEC/IEEE standard is the fifth part of the IEC/IEEE 62582 series. It contains detailed descriptions of condition monitoring based on optical time domain reflectometer measurements on optical fibres and cables.

The IEC/IEEE 62582 series of standards is issued with a joint logo, which makes it applicable to management of ageing of electrical equipment qualified to IEEE as well as IEC Standards.

Historically, IEEE Std 323™-2003 introduced the concept and role that condition based qualification could be used in equipment qualification as an adjunct to qualified life. In equipment qualification, the condition of the equipment for which acceptable performance was demonstrated is the qualified condition. The qualified condition is the condition of equipment, prior to the start of a design basis event, for which the equipment was demonstrated to meet the design requirements for the specified service conditions.

Significant research has been performed on condition monitoring techniques and the use of these techniques in equipment qualification as noted in NUREG/CR-6704, vol.2 (BNL-NUREG-52610) and JNES-SS-0903, 2009.

It is intended that this standard be used by test laboratories, operators of nuclear power plants, systems evaluators and licensors.

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

IEC/IEEE 62582-5 is the third level IEC SC 45A document tackling the specific issue of application and performance of optical time domain reflectometer measurements in management of ageing of optical fibres and cables in electrical instrument and control equipment in nuclear power plants.

IEC/IEEE 62582-5 is to be read in association with IEC/IEEE 62582-1, which provides requirements for application of methods for condition monitoring of electrical equipment important to safety of nuclear power plants.

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.

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 document of the IEC SC 45A standard series is IEC 61513. It provides general requirements for I&C systems and equipment that are used to perform functions important to safety in NPPs. IEC 61513 structures the IEC SC 45A standard series.

IEC 61513 refers directly to other IEC SC 45A standards for general topics related to categorisation of functions and classification of systems, qualification, separation of systems,

defence against common cause failure, software aspects of computer-based systems, hardware aspects of computer-based systems, and control room design. The standards referenced directly at this second level should be considered together with IEC 61513 as a consistent document set.

At a third level, IEC SC 45A standards not directly referenced by IEC 61513 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.

IEC 61513 has adopted a presentation format similar to the basic safety publication IEC 61508 with an overall safety life-cycle framework and a system life-cycle framework. Regarding nuclear safety, it provides an 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 and IEC 62138 correspond to IEC 61508-3 for the nuclear application sector. IEC 61513 refers to ISO as well as to IAEA GS-R-3 and IAEA GS-G-3.1 and IAEA GS-G-3.5 for topics related to quality assurance (QA).

The IEC SC 45A standards series consistently implements and details the principles and basic safety aspects provided in the IAEA code on the safety of NPPs and in the IAEA safety series, in particular the Requirements SSR-2/1, establishing safety requirements related to the design of Nuclear Power Plants, and the Safety Guide NS-G-1.3 dealing with instrumentation and control systems important to safety in Nuclear Power Plants. The terminology and definitions used by SC 45A standards are consistent with those used by the IAEA.

NOTE It is assumed that for the design of I&C systems in NPPs that implement conventional safety functions (e.g., to address worker safety, asset protection, chemical hazards, process energy hazards) international or national standards would be applied that are based on the requirements of a standard such as IEC 61508.

NUCLEAR POWER PLANTS – INSTRUMENTATION AND CONTROL IMPORTANT TO SAFETY – ELECTRICAL EQUIPMENT CONDITION MONITORING METHODS –

Part 5: Optical time domain reflectometry

1 Scope and object

This part of IEC/IEEE 62582 contains methods for monitoring the attenuation condition of optical fibres and cables in instrumentation and control systems using optical time domain reflectometer (OTDR) measurements in the detail necessary to produce accurate and reproducible measurements. It includes the requirements for the measurement system and conditions, and the reporting of the measurement results.

The different parts of IEC/IEEE 62582 are measurement standards, primarily for use in the management of ageing in initial qualification and after installation. IEC/IEEE 62582-1 includes requirements for the application of the other parts of IEC/IEEE 62582 and some elements which are common to all methods. Information on the role of condition monitoring in qualification of equipment important to safety is found in IEEE Std 323. Detailed descriptions of methods for OTDR measurement of the quality and functionality of fibre optic cables are given in IEC 61280-4-1 for multimode attenuation and in IEC 61280-4-2 for single-mode attenuation.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 61746-1, *Calibration of optical time-domain reflectometers (OTDR) – Part 1: OTDR for single mode fibres*

IEC 61746-2, *Calibration of optical time-domain reflectometers (OTDR) – Part 2: OTDR for multimode fibres*

3 Terms and definitions

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

3.1

annealing <of radiation-induced attenuation>

recovery of radiation-induced attenuation of an optical fibre by temperature (thermal annealing) and/or transmission light power (photobleaching)

Note 1 to entry: Annealing is related to fibre material and to dose rate and exposure.

3.2

attenuation annealing time

time that is necessary to decrease the attenuation to a certain fraction (e.g., $\frac{1}{2}$ or $1/e$) of the attenuation immediately after the end of the irradiation

3.3

graded index fibre

optical fibre having a graded index profile in which the refractive index varies continuously in the core as a function of distance from the axis

[SOURCE: IEC 60050-731:1991, 731-02-11 and 731-02-15, modified]

3.4

index of refraction

the index of refraction (group index) is defined as:

$$IOR = c/c_{\text{fibre}} \quad (1)$$

where

IOR is the index of refraction;

c is the velocity of light in vacuum (299 792 458 m/s);

c_{fibre} is the velocity of light in the fibre.

IOR determines the length of the cable over which the OTDR measurements are made.

3.5

optical attenuation

$A(\lambda)$

measure of the decreasing transmission light power in a fibre at a given wavelength. The definition is:

$$A(\lambda) = | 10 \lg (P1(\lambda)/P2(\lambda)) | \quad (2)$$

where

$A(\lambda)$ is the attenuation, in dB, at wavelength λ ;

$P1(\lambda)$ is the transmission light power traversing one cross-section (marker 1);

$P2(\lambda)$ is the transmission light power traversing a second cross-section (marker 2).

Note 1 to entry: It depends on the nature and length and condition of the fibre and is also affected by measurement conditions.

Note 2 to entry: The term loss is used synonymous with attenuation in this International Standard.

3.6

optical attenuation coefficient

$a(\lambda)$

attenuation per unit length, defined as:

$$a(\lambda) = A(\lambda)/L \quad (3)$$

where L is the unit length in km.

3.7

optical time domain reflectometer

device for characterizing an optical fibre whereby an optical pulse is transmitted through the optical fibre and the optical power of resulting light scattered and reflected back to the input is measured as a function of time

[SOURCE: IEC 60050-731:1991, 731-07-08, modified]

3.8

step index fibre

fibre having a uniform *IOR* within the core

Note 1 to entry: The step is the shift between the core and the cladding, which has a lower *IOR*.

4 Abbreviations and acronyms

Al	Aluminum
A/D	Analog/digital
F	Fluorine
FUT	Fibre under test
Ge	Germanium
GI	Graded index
<i>IOR</i>	Index of refraction (Group index)
LSA	Least square approximation
OH	Hydroxide ion
OTDR	Optical time domain reflectometer
P	Phosphorus
RIA	Radiation induced attenuation
Si	Silicon
SI	Step index
SNR	Signal to noise ratio
UV	Ultra-violet
2PA	Two point approximation

5 General description

Optical time domain reflectometry is a measurement technique for characterising an optical fibre whereby an optical pulse is transmitted through the optical fibre and the transmission light power of the resulting light scattered and reflected back to the input is measured as a function of time. The result is reported as the attenuation coefficient (in dB/km).

OTDR measurements are useful in estimating the attenuation coefficient for fibres with uniform attenuation and for identifying and localizing defects and localized losses. The method gives results that are accurate, reproducible and related to practical use.

Details about attenuation uniformity of optical fibres can be found in IEC TR 62033.

6 Applicability and reproducibility

This International Standard is limited to the use of an OTDR as an instrument for monitoring the attenuation of optical fibres and optical cables as part of management of ageing. The method is not suitable for monitoring the condition of fibre with respect to mechanical integrity.

In general optical fibres are sensitive to ageing, e.g., due to exposure to ionising radiation, which manifests itself mainly through the increase of the optical attenuation, see also Annexes A and B. The attenuation (in dB/km) is used as an indicator of ageing for both optical and hybrid (electrical-optical) cables, with in-situ access, whilst these cables are being operated in nuclear environments.

OTDR measurements allow analysis of the condition of the entire fibre, particularly of longitudinal subsections of the fibre, or even identification of discrete points such as splices. It also permits calculation of the fibre length, although this is outside the scope of this international standard.

Optical cables in safety related applications in nuclear power plants may be shorter than in general applications. Measurement of short optical cables (< 500 m) requires OTDR instruments with high resolution.

The OTDR measurement is affected by the propagation speed and the backscattering behaviour of the fibre. Best accuracy is obtained by measuring the attenuation from both ends of the fibre and averaging the two backscatter traces. Therefore, measurements shall normally be repeated from both ends. This is especially useful in case of unexpected discontinuities. However, the improvement to the accuracy from measurements on both ends is limited and measurements from one end are acceptable in cases where two ends are not accessible.

7 OTDR measurements procedure

7.1 General

For condition monitoring one supervisory channel over all cable segments shall be accessible for OTDR measurements. This could be one spare fibre in each cable segment, one multiplexer channel or the use of an OTDR wavelength not disturbing the data transmission in a fibre (or vice versa) using splitters.

7.2 Instrumentation

An OTDR may contain a number of parts, or modules, which provide the required functions. These include a waveform generator (laser diode), a detector, a signal processing function and a display. The instrument will also provide facilities to allow connection to the fibre cable under test, such as a directional coupler and a fibre connector. The configuration of the OTDR is shown in Figure 1.

The contact between the instrument fibre (adaptor cord) and the FUT shall be of a type assuring repeatability and be clean and free from debris. A mechanical splice is usually used as the contact.

The OTDR shall have a sufficient dynamic range to allow measurement over the FUT.

The instrument may contain facilities for changing the wavelength of the test pulses. In addition, the OTDR may allow operation in either single-mode or multimode configuration.

A typical design of an OTDR consists of two main parts. These include the main frame, with a microprocessor and a waveform display; and a plug-in unit that houses the laser diode, the detector, a directional coupler and the fibre connector. Different plug-in units with separate wavelengths can be used together with the same main frame. The plug-in units can be adapted to either single-mode or multimode applications.

The configuration of the OTDR is shown in Figure 1.

A sequence of pulses of light is sent from a laser diode, and is transmitted via an optical directional coupler and an optical connector into the fibre. The back scattered light, due to Rayleigh scattering, is reflected back to the OTDR via the connector and is led through the directional coupler to the detector. The detector converts the light to an electrical analogue signal, which is amplified and sent to an A/D converter. A microprocessor treats the digital signal and generates a presentation on the waveform display. The adaptor cord is typically

1 km to 2 km long and may act as an attenuator. It is usually connected to the FUT with a mechanical splice. In this way dirt is avoided in the OTDR-connector.

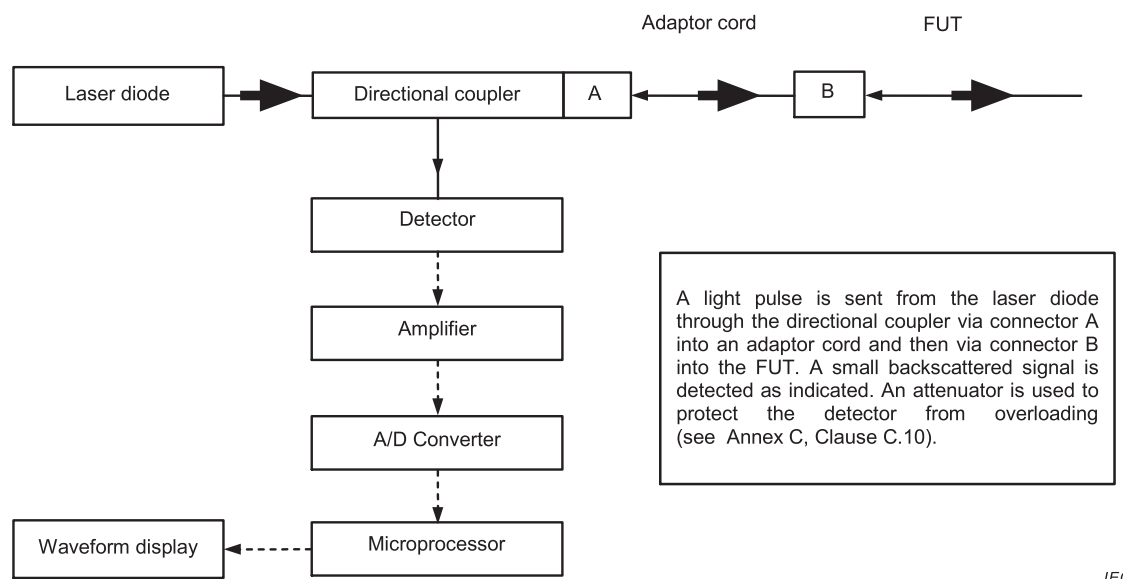


Figure 1 – Block functions of the OTDR

7.3 Measurement wavelengths

For single-mode fibres, it is recommended that the attenuation at wavelength 1 310 nm, 1 550 nm and 1 625 nm is reported. For multimode fibres it is recommended that the attenuation at wavelength 850 nm and 1 300 nm is reported. If wavelengths other than these are used in the field application, the attenuation at those wavelengths shall be reported in addition.

7.4 Calibration

The OTDR equipment shall be calibrated, including the internal clock (for timing accuracy) and the laser emitter (for pulse energy and pulse duration). The calibration shall be performed in accordance with IEC 61746-1 for single-mode fibres, IEC 61746-2 for multimode fibres.

7.5 Precautions for OTDR measurements

Consecutive and comparative OTDR measurements shall be performed using the same parameters, particularly for the pulse energy and duration. Also the wavelength of operation for the condition monitoring equipment shall be selected within the range of wavelengths being transported by the FUT and under operation. Special attention shall be given to the maximum transmitted light power. To avoid photobleaching, the power shall be limited to $\leq 1 \mu\text{W}$. The values of the parameters used shall be recorded and reported. Guidance for the selection of measurement parameters is given in Annex C.

Ageing and additional attenuation can make it necessary to increase pulse durations and averaging time, as well as change marker positions, see Annex C.

7.6 Conditioning

For laboratory measurements after artificial thermal ageing, the specimen shall be conditioned at a laboratory temperature of $(25 \pm 5) ^\circ\text{C}$ and a relative humidity of 45 % to 75 % for at least 3 h prior to measurement.

For laboratory measurements after artificial exposure to ionising radiation, the OTDR measurements shall be made as soon as possible after the exposure. The laboratory temperature shall be (25 ± 5) °C and the relative humidity shall be 45 % to 75 %. The temperature at which the measurements are made and the time between the finishing of the exposure and the start of the measurements shall be reported.

NOTE Due to annealing, the effect on the attenuation from ageing in ionising radiation will revert after finishing the exposure. The rate of reversion depends on the surrounding temperature – the higher the temperature, the higher the rate of reversion. See Annex B.

For field measurements, the temperature of the surrounding atmosphere shall be recorded.

7.7 OTDR measurement

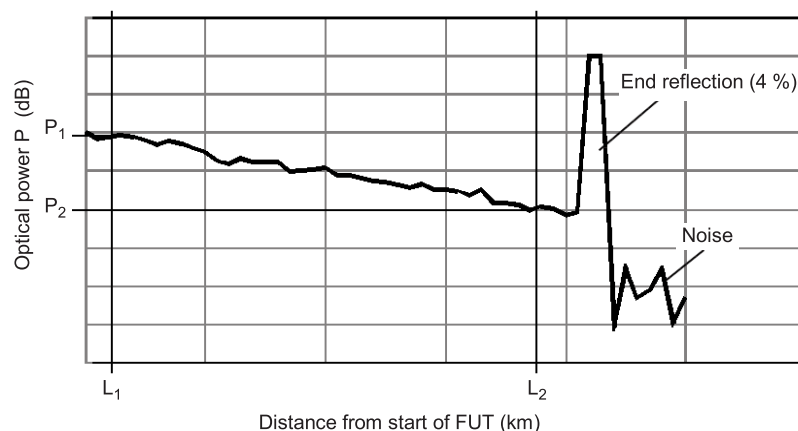
Prior to the start of the condition monitoring program, all the parameters of the OTDR shall be determined and fixed, in order to optimise the measurements, both in terms of accuracy and acquisition time. The following parameters shall be selected, stored for consecutive measurements, and reported:

- measurement points (marker 1 and marker 2 in Figure 2);
- wavelength of test;
- pulse duration;
- distance range (the instrument selects power level when the distance range has been set);
- type of connection between the adaptor cord and the FUT;
- number of pulses for averaging;
- backscattering coefficient;
- *IOR* (group index).

Guidance on selection of parameters is given in Annex C.

A pulse duration shall be selected that is long enough to obtain an OTDR trace which visualises the entire FUT, and short enough to optimise the resolution. Repeated measurements may be needed, using longer/shorter pulse durations in order to optimise the resolution.

A typical OTDR trace presenting the received backscattered power versus the distance along the FUT is presented in Figure 2 together with set values and calculated results. Figure 3 gives two examples of possible faults in the cable, identified by the OTDR.



Set and selected values:

Distance range = 18 km
Horizontal scale = 250 m/div
Vertical scale = 0,1 dB/div
Wavelength = 1 550 nm
Pulse duration = 1 μ s
Attenuator = 5,0 dB
IOR = 1,500 0
Transmission loss measurement is selected (loss)
LSA is selected as approx. method
 L_1 is selected at 0,050 km
 L_2 is selected at 0,950 km

Calculated results

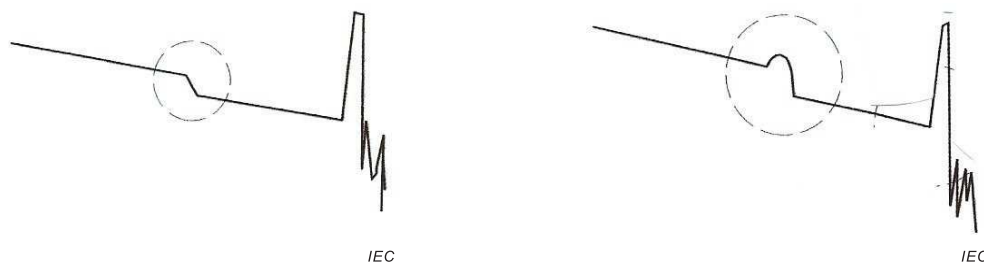
Attenuation between the markers $P_1 - P_2 = 0,18$ dB
Distance between the markers $L_2 - L_1 = 0,9$ km
Attenuation coefficient $(P_1 - P_2) / (L_2 - L_1) = 0,20$ dB/km

IEC

Key

L_1 is the position of marker 1
 L_2 is the position of marker 2
 P_1 is the power (in dB) at the position of marker 1
 P_2 is the power (in dB) at the position of marker 2

Figure 2 – A typical OTDR waveform – Backscattered power vs distance (km)



a) Attenuation step

b) Fibre break

Figure 3 – Examples of faults

The measurements shall determine the average attenuation (in dB/km) over the length of the fibre measured and the local attenuation over discontinuities (splices, faults, etc.). Information on averaging and factors affecting SNR is given in Annex C, Clause C.5.

In the event of a degraded SNR under radiation, the fibre section monitored shall be reduced accordingly, in order to obtain an attenuation coefficient through linear regression with a standard deviation better than 0,9. The fibre section used for the estimation of the attenuation coefficient shall contain a minimum of 50 measurement points.

7.8 Measurement errors

For measurement errors, reference is made to IEC 61280-4-2 (single mode) and IEC 61280-4-1 (multimode).

7.9 Test report

Data used for the condition monitoring of fibre optic cables and components shall be organised in an auditable file or report. The measurement report shall as a minimum include the following information:

- a) Number, identification and description of the specimen, including material composition.
- b) Pre-history (unaged, artificially aged, naturally aged).
- c) Locality of the measurement (laboratory, on-site).
- d) For laboratory measurement of thermally artificially aged specimen: time allowed for attaining temperature equilibrium with laboratory before performing the measurements (time interval between removing the specimen from the heat chamber until start of measurement).
- e) For laboratory measurement of specimen aged in ionising radiation: time between finishing of radiation exposure and start of measurements.
- f) The ambient temperature at which the measurements are made.
- g) Measurement instrumentation, most recent calibration date and reference to the calibration certificate.
- h) Measurement conditions, including transmission light power, pulse duration, wavelength of operation, measurement points, distance range, number of pulses for averaging, back scattering coefficient, and *IOR*.
- i) Connection of the specimen for measurements (dummy spool, power splitter, switch).
- j) Splice losses in case of several cables spliced together.
- k) Analysis of any test anomalies.
- l) Attenuation coefficient in dB/km for each wavelength. The mean value over the whole length of the fibre measured shall be given, together with the values over discontinuities (faults, splices, etc.). It is recommended to enclose a digital trace showing the attenuation versus distance. The cause of the discontinuities should be identified and reported.
- m) Any other information of importance in interpretation of the measurement results in relation to the purposes of the measurements.

Annex A (informative)

Factors affecting the measurement of attenuation in fibre optic systems

A.1 General

There are many factors that influence the measurement of signal attenuation in a fibre optic system. Some of these are as follows:

- a) temperature;
- b) humidity;
- c) bending;
- d) transmission light power;
- e) connector interface.

A.2 Temperature and humidity

Temperature has an inverse relationship with signal attenuation, so the lower the temperature, the more the signal attenuation. This inverse temperature relationship will have to be taken into account when analysing the information from condition monitoring. This change in the signal attenuation of the cable can be in a manner that is not monotonic.

Humidity can cause additional fibre attenuation. This will need to be accounted for in testing. Change in humidity levels on subsequent tests can change the fibre attenuation in a manner that is not monotonic.

A.3 Bending

Bending of the cable can affect the fibre attenuation. If the cable bend radius is changed, this can change the attenuation in the cable, such that misinterpretation of the result is possible. In these circumstances, a new baseline may be necessary.

A.4 Transmission light power

The signal used to test the fibre optic cable or a light source may cause photobleaching, which can decrease the attenuation in the fibre (see B.2.2.6). This is taken into account by using a power level that is the same as that used in service, but not above 1 μ W.

A.5 Connector interface

Additional attenuation can be developed at the connector interface and this would need to be taken into account when defining the starting point for calculation of the attenuation of the FUT.

Annex B (informative)

Ageing and degradation of optical fibres in nuclear power plants

B.1 Factors affecting ageing

B.1.1 General

A fibre exposed to ageing suffers from mechanical degradation and increased attenuation. This International Standard focuses on fibre attenuation. An optical fibre consists of an inner glass region (core and cladding) and outside a coating layer (typically two layers). The increased attenuation caused by ageing may be due to a coating or a glass problem.

If, due to homogeneous ageing, the total length of the fibre is subjected to degradation, it will show up as a higher slope on the full OTDR-curve, see Figure B.1. If only certain sections are subject to degradation due to inhomogeneous ageing, the curve will show higher slopes for those sections.

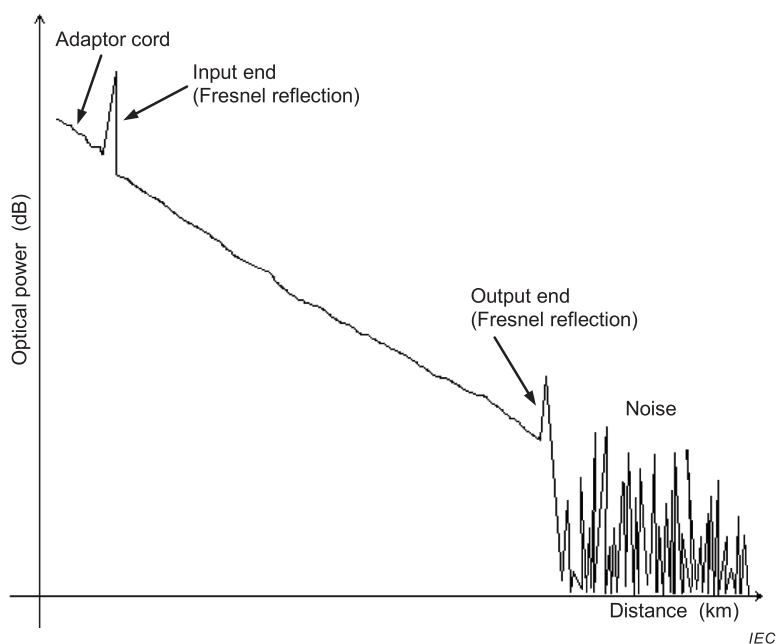


Figure B.1 – A typical OTDR-trace

B.1.2 Thermal ageing

Thermal ageing can cause polymers to shrink or relax. This can cause additional attenuation in the fibre from microbends. Additionally, hydrogen can be released from organics which can create increased attenuation in a fibre. There are methods to reduce or eliminate these effects. One is to use a hydrogen scavenger in the cable. Ageing of the hydrogen scavenger (used for hydrogen absorption) may affect the attenuation.

B.2 Ageing in ionising radiation

B.2.1 General

Radiation can influence many properties of optical fibres depending on a variety of factors, such as:

- a) Manufacturing influences:
 - fibre type (single mode, GI, SI);
 - doping of core, doping of cladding (for single-mode fibres);
 - manufacturing processes including preform;
 - core and cladding material;
 - OH content;
 - coating material;
 - drawing conditions.
- b) Operating conditions:
 - wavelength;
 - light power;
 - launch conditions;
 - annealing periods.
- c) Environment:
 - total dose;
 - dose rate;
 - temperature;
 - mechanical stress.

A comprehensive survey of the radiation exposure in certain environments and applications and the different radiation effects on fibres can be found in IEC TR 62283.

B.2.2 Increase of attenuation

B.2.2.1 General

The most obvious effect of ionising radiation is an increase of attenuation (RIA radiation-induced attenuation). It is observable with all radiation types in all fibre types even at low dose levels. The increase of attenuation is related to the development of colour centres, which affect dramatically the optical attenuation in UV-visible-near infrared spectral ranges (see Figure B.2). A colour centre is a lattice defect in a crystalline solid consisting of a vacant negative ion site and an electron bound to the site. Such defects will absorb light and make certain, normally transparent, crystals appear coloured. This means that the light transmitted may differ in wavelength from the input light due to a colour centre's presence.

There exist neither theoretical descriptions nor deterministic models that would be able to predict the radiation effects in optical fibres. Empirical models have been developed that might be used to extend the parameter range of experimental data obtained with the respective product.

B.2.2.2 Fibre types

Different fibre types exhibit distinctively different radiation sensitivities. Whereas it is nearly impossible to predict the radiation sensitivity of specific optical fibres, some general statements can be made. By far the most important factor is the dopants of the fibres. Al (which is commonly used in combination with rare-earth elements) and P are known to lead to very high RIA. Pure-silica core fibres of high quality, on the other hand, tend to exhibit much

lower RIA (see Figure B.2). For single mode fibres, especially the inner cladding dopants should be considered. The coating material and other manufacturing parameters also influence the radiation sensitivity.

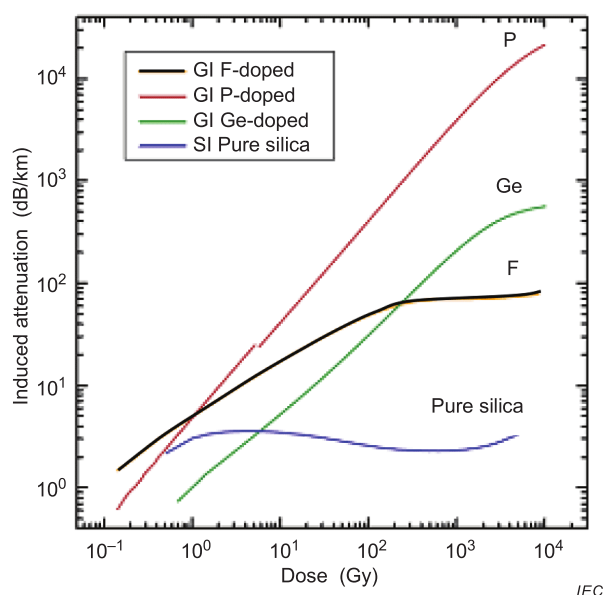


Figure B.2 – RIA of different fibre types ²

B.2.2.3 Radiation history

Different types of fibres show differences in attenuation increase when irradiated a second time under identical conditions. Some types show higher attenuation increase, some types a lower one. Other fibres just reach quickly the last attenuation level at the end of the previous irradiation. This also depends on the time between successive irradiations and on the residual attenuation from the previous irradiation, i.e., on the attenuation annealing behaviour.

B.2.2.4 Wavelength dependence

The radiation-induced attenuation of all fibres depends strongly on the wavelength of the transmitted light. There is a pronounced maximum in the UV, with more than 100 times higher attenuation than in the region of minimal attenuation (see Figure B.3). This factor depends on fibre type and radiation dose.

² Taken from KUHNHENN, J., HENSCHER, H., HÖFFGEN, S.K., WEINAND, U (2008), listed in the Bibliography.

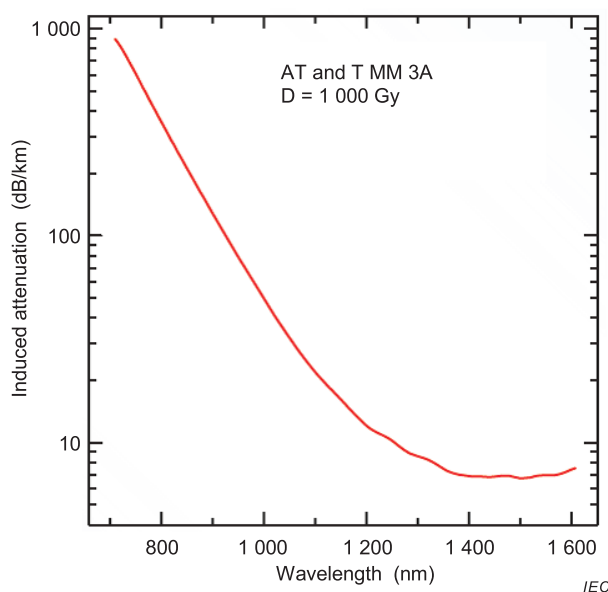


Figure B.3 – Example for RIA and its wavelength dependence of an optical fibre ³

B.2.2.5 Temperature dependence

The RIA of nearly all fibre types decreases with increasing temperature. The reason is that colour centres anneal faster with increasing temperature ("thermal annealing").

B.2.2.6 Light power dependence, photobleaching

For some optical fibres it has been observed that the RIA can be dependent on the intensity of the light that is used for the attenuation measurement. This effect is known as "photobleaching", i.e., the colour centre annealing rate is increased by the transmitted light. By limiting the transmitted light power of the OTDR to $\leq 1 \mu\text{W}$, photobleaching will not affect the results of the measurements for commonly used optical transmission devices.

B.2.2.7 Dose rate dependence

For fibres with moderate or high annealing rate, the effect on attenuation from a certain dose of ionising radiation is higher for high dose rates than for low dose rates. The dose rate dependence of the RIA depends on the fibre type and the related annealing time. The faster the annealing, the stronger is the dose rate effect. This can be explained by a competition between colour centre population and depopulation: the lower the dose rate, the longer the time to reach a certain dose, the more colour centres anneal during irradiation. Saturation is reached when the colour centre production rate becomes equal to the colour centre annealing rate. Since the annealing rate is proportional to the number of existing colour centres (i.e., to the induced attenuation), the saturation attenuation value will increase with increasing dose rate. The dose rate effect is negligible for fibres with no or very slow annealing.

B.2.2.8 Attenuation annealing time

The attenuation annealing time is related to the fibre material.

³ Taken from KUHNHENN, J., HENSCHL, H., HÖFFGEN, S.K., WEINAND, U (2008), listed in the Bibliography.

B.2.2.9 Change of refractive index and bandwidth

The Kramers-Kronig dispersion relations state that increasing attenuation also changes the *IOR*. With GI fibres, the radiation-induced attenuation and *IOR* changes might depend on the respective dopant concentrations. The changes of the *IOR* profile caused by irradiation lead to a change of bandwidth. Increase as well as decrease of bandwidth seems to be possible. With longer fibre sections, noticeable bandwidth degradation only occurs when the RIA has reached unacceptably high values.

Annex C

(informative)

Guidance on selection of parameters for the measurement

C.1 Selection of distance range

The distance range (sometimes called “measurement range”) is the distance between two consecutive pulses sent by the laser diode. The longer the fibre to be measured, the longer the laser diode has to wait before sending another pulse, since only one pulse at a time is allowed in the fibre. The distance range is given in units of length [km]. The range is set longer than the fibre to be measured (sometimes twice as long, otherwise unwanted effects such as ghost spikes, may arise), but still as short as possible, to reduce measurement time.

C.2 Selection of pulse duration and definition of dead zone

The width of the pulses can be specified as a time [μ s, ns] or as a length [m]. The bigger the pulse duration, the more power is transmitted into the fibre and the longer the lengths that can be measured (increasing the dynamic range). Possible settings of the pulse duration are dependent on the hardware and the selected distance range. A shorter pulse duration, though, gives a better spatial resolution for length measurement and for fault detection, plus a shorter dead zone. Mechanical splices (glass-air-glass) cause reflections. These will “blind” the detector and the effect is an unmeasurable zone, also called the dead zone, appearing immediately after the reflection.

This is also the case at the start of the fibre signature, due to the instrument connector, and other splicing points. The width of the dead zone depends on the size of the reflection. A wide pulse and a bad connection (mechanical splice) result in a big reflection plus a wide dead zone. The width may vary from tenths of metres to hundreds of metres.

C.3 Selection of wavelength

Most OTDRs have a plug-in unit with several wavelengths (λ). By using several wavelengths it is possible to analyse which type of fault is dominant in a discontinuity of the slope.

C.4 Selection and position of markers

When measuring attenuation, two markers are normally used, see Figure C.1. The first marker is placed at the start of the fibre signature, and the second marker is placed immediately before the rising edge of the end reflection. The result can be presented either as an absolute value [dB] or as the attenuation per unit length [dB/km].

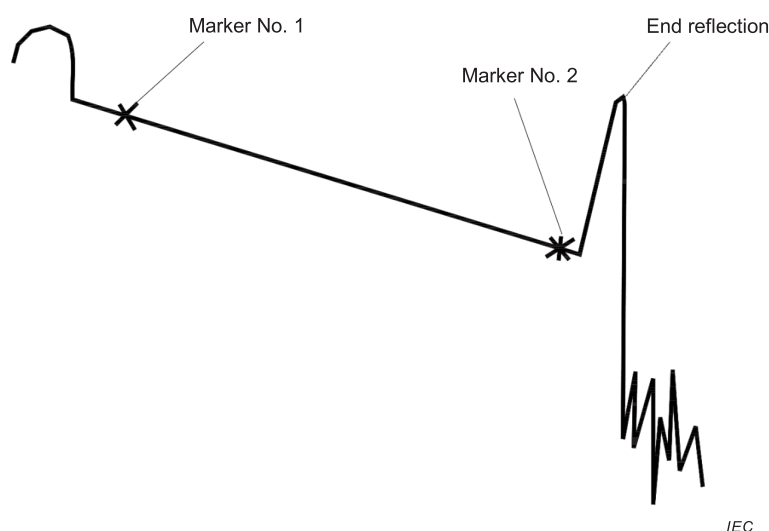


Figure C.1 – Markers for measuring attenuation

When measuring splice loss, five markers are used, see Figure C.2. The middle (3rd) marker is placed at the point where the step difference begins to rise or fall. Markers 1 and 2 are set on the first fibre while markers 4 and 5 are placed on the second fibre. This is often done automatically but the markers may have to be adjusted a little. The OTDR fits a line between markers 1 and 2 plus 4 and 5, respectively, according to the selected approximation method. The splice loss is the differential step between the two approximated lines at marker 3. The attenuation of the fibre is the difference between the values in marker 1 and 5 minus the splice loss.

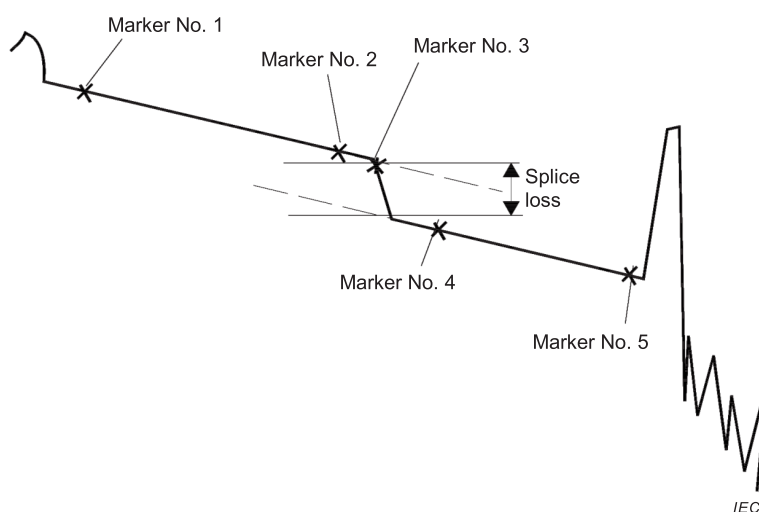


Figure C.2 – Markers for measuring splice loss

The chosen marker can be moved by turning the thumb wheel or by pressing a function key. Horizontal and vertical scaling (zooming) are performed around the chosen marker. This marker is often represented as a cursor.

C.5 Selection of method for averaging

Averaging can be performed as an averaging of attenuation calculated for each measurement (using LSA) or as an averaging of the value of the markers at each measurement and calculation of the attenuation by the difference between the averaged values (using 2PA), see Figure C.3. The OTDR can be set for either way. Averaging is performed to improve the SNR and to achieve a less noisy signature. The time/number of times needed for averaging is dependent on the settings for the distance range, the pulse duration and the length of the fibre being measured.

When averaging is off, the signature is updated for each sweep. For some OTDRs this “off” function is called “free run”. The averaging is performed quicker when 2PA is selected, than when LSA is selected as an approximation method.

If LSA is selected, a least square approximation is made on the signature, before the attenuation is calculated. When 2PA is selected, the attenuation is calculated from the absolute values of the markers.

When measuring attenuation using the 2PA method, the result may vary depending on the position of the markers. If these are placed on a local “peak” and in a local “valley”, respectively, the result might include some error.

For attenuation measurements, LSA is recommended as the approximation method.

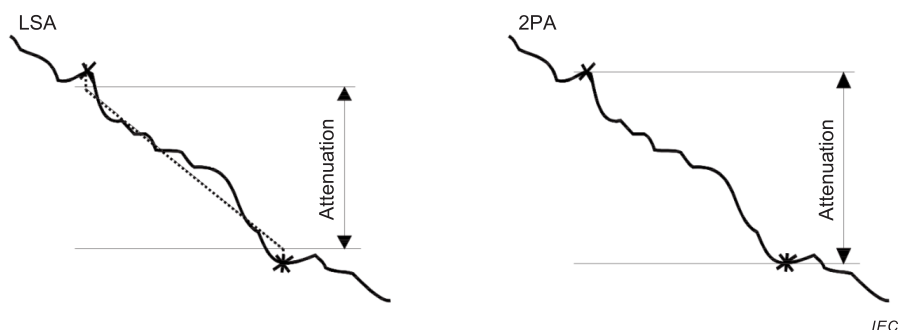


Figure C.3 – LSA and 2PA as approximation methods

C.6 Setting of the vertical and horizontal scale (v-zoom, h-zoom)

The setting (zooming) of the vertical and horizontal axis does not affect the measurement results, but improves the visual evaluation of the signature. For accurate length measurements, best results are obtained with optimum scale of both vertical and horizontal axis. In most cases the instrument will zoom around the chosen marker.

The vertical scale (y-axis) is specified as dB/div. The horizontal scale (x-axis) is specified as km/div.

C.7 Vertical and horizontal shifts

Vertical shift (vertical offset) shifts the signature vertically. Horizontal shift (horizontal offset) shifts the signature horizontally.

C.8 Laser on/off

The laser is automatically switched off after averaging. In most cases it is impossible to switch the laser on if the fibre connector is not connected properly. Changing the wavelength might not be possible if the laser is switched off.

C.9 Setting of *IOR*, group index

The *IOR* (group index) determines the measured value of the length. It is set while calibrating the instrument with a reference fibre with known length, or set according to the fibre or cable manufacturers' recommendation. The most recent setting is saved and stored in the internal memory of the instrument. The *IOR* is normally different for different wavelengths. Hence, the group index for a fibre measurement can be described according to the following formula:

$$n_g(\lambda) = n_g^{\text{typical}}(\lambda) + \alpha_1(\lambda) \quad (\text{C.1})$$

where $n_g^{\text{typical}}(\lambda)$ is the typical group index for a certain wavelength and fibre type, e.g. 1,467 and 1,468 for 1 310 nm and 1 550 nm respectively for a typical G652 fibre (single mode non-dispersion-shifted fibre, designation according to the International Telecommunication Union). $\alpha_1(\lambda)$ is an instrument dependent parameter that is taken into account when length calibration is made on a reference fibre.

C.10 Use of attenuator

Sometimes the start of the fibre signature might be saturated (flat). An attenuator has to be used to prevent the detector from being overloaded. This can be done automatically or manually. The figure shows a signature without an attenuator and then with 5 dB of attenuation, see Figure C.4.

The saturation must not be confused with a vertically shifted signature, which might look like a saturation. To separate these two phenomena, change the scale of the vertical axis.

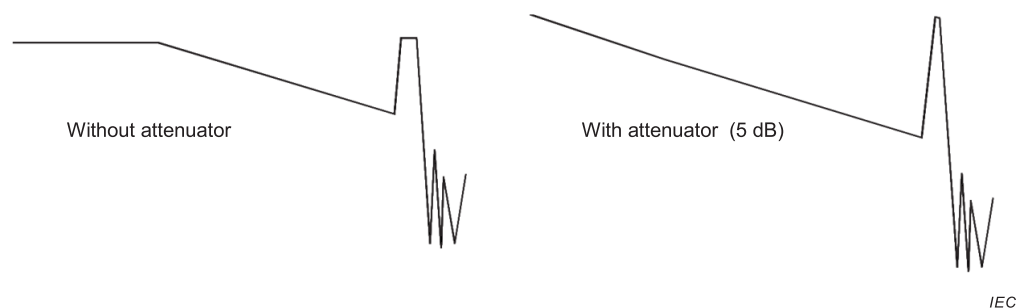


Figure C.4 – Fibre signature with the attenuator set at 0 dB and 5 dB, respectively

Bibliography

IEC 60544-5, *Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionising radiation – Part 5: Procedures for assessment of ageing in service*

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

IEC 60793-1-40, *Optical fibres – Part 1-40: Measurement methods and test procedures – Attenuation*

IEC 60793-1-46, *Optical fibres – Part 1-46: Measurement methods and test procedures – Monitoring of changes in optical transmittance*

IEC 60793-1-54, *Optical fibres – Part 1-54: Measurement methods and test procedures – Gamma irradiation*

IEC 60793-2-10, *Optical fibres – Part 2-10: Product specifications – Sectional specification for category A1 multimode fibres*

IEC 60793-2-50, *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres*

IEC 60880:2006, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Software aspects for computer-based systems performing category A functions*

IEC 61280-4-1:2009, *Fibre-optic communication subsystem test procedures – Part 4-1: Installed cable plant – Multimode attenuation measurement*

IEC 61280-4-2:2014, *Fibre-optic communication subsystem test procedures – Part 4-2: Installed cable plant – Single-mode attenuation and optical return loss measurement*

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 requirements for systems*

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

IEC TR 62033, *Attenuation uniformity in optical fibres*

IEC TR 62283, *Optical fibres – Guidance for nuclear radiation tests*

IEC TR 62316, *Guidance for the interpretation of OTDR backscattering traces*

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

ISO/IEC 14763-3, *Information technology – Implementation and operation of customer premises cabling – Part 3: Testing of optical fibre cabling*

IEEE Std 323™, *IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations*

IEEE Std 1682™, *IEEE Standard for Qualifying Fiber Optic Cables, Connections, and Optical Fiber Splices for Use in Safety Systems of Nuclear Power Generating Stations*

IAEA-TECDOC-1188, *Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: In-containment instrumentation and control cables*, IAEA, Vienna

Kuhnhenh, J., Henschel, H., Höffgen, S.K., Weinand, U., *Optical fibres as radiation sensors at high energy accelerators. In: Lecture Proceedings, University of Bonn, 2008-12-11*

NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL -NUREG-52610), *Assessment of Environmental Qualification Practices and Condition Monitoring Techniques for Low-Voltage Electric Cables, Condition Monitoring Test Results*

NUREG/CR-7000, *Essential Elements of an Electric Cable Condition Monitoring Program*

JNES-SS-0903:2009, *The final report of the project assessment of cable ageing for nuclear power plant*

IAEA GS-R-3, *The management system for facilities and activities*

IAEA Safety Standard Series No. SSR-2/1:2012, *Safety of Nuclear Power Plant: Design*

Girard, S., Kuhnhenh, J., Gusarov, A., Brichard, B., Van Uffelen, M., Ouerdane, Y., Boukenter, A., Marcandella, C.: *Radiation effects on silica-based optical fibers. Recent advances and future challenges. IEEE Transactions on nuclear science, vol. 60, No. 3, June 2013*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	30
INTRODUCTION	32
1 Domaine d'application et objet	34
2 Références normatives	34
3 Termes et définitions	34
4 Abréviations et acronymes	36
5 Description générale	36
6 Applicabilité et reproductibilité	37
7 Procédure de mesure par rétrodiffusion	37
7.1 Généralités	37
7.2 Instrumentation	37
7.3 Longueurs d'onde de mesure	38
7.4 Etalonnage	38
7.5 Précautions à prendre pour réaliser les mesures par rétrodiffusion	39
7.6 Conditionnement	39
7.7 Mesure par rétrodiffusion	39
7.8 Erreurs de mesure	41
7.9 Rapport d'essai	41
Annexe A (informative) Facteurs d'influence des mesures d'affaiblissement des systèmes à fibre optique	42
A.1 Généralités	42
A.2 Température et humidité	42
A.3 Courbure	42
A.4 Puissance lumineuse transmise	42
A.5 Raccord d'interface	42
Annexe B (informative) Vieillissement et endommagement des fibres optiques dans les centrales nucléaires de puissance	43
B.1 Facteurs d'influence du vieillissement	43
B.1.1 Généralités	43
B.1.2 Vieillissement thermique	43
B.2 Vieillissement dû aux rayonnements ionisants	44
B.2.1 Généralités	44
B.2.2 Augmentation de l'effet d'affaiblissement	44
Annexe C (informative) Recommandations portant sur le choix des paramètres de mesure	48
C.1 Choix de gamme de distances	48
C.2 Choix de la durée d'impulsion et définition de la zone morte	48
C.3 Choix de la longueur d'onde	48
C.4 Choix et position des marqueurs	48
C.5 Choix de la méthode du calcul de la moyenne	50
C.6 Mises à l'échelle verticale et horizontale (v-zoom, h-zoom)	50
C.7 Décalages vertical et horizontal	50
C.8 Mise en service ou à l'arrêt du laser	51
C.9 Initialisation de l'IDR et de l'indice de groupe	51
C.10 Utilisation d'un affaiblisseur	51
Bibliographie	52

Figure 1 – Blocs fonctionnels du RDT	38
Figure 2 – Tracé d'onde typique du RDT – Puissance rétrodiffusée par rapport à la distance (km).....	40
Figure 3 – Exemples de défauts.....	40
Figure B.1 – Tracé de sortie classique d'un RDT	43
Figure B.2 – AIR pour différents types de fibre.....	45
Figure B.3 – Exemple d'AIR en fonction de la longueur d'onde pour une fibre optique	46
Figure C.1 – Marqueurs de mesure de l'affaiblissement	49
Figure C.2 – Marqueurs de mesure de la perte au raccord	49
Figure C.3 – Méthodes d'approximation AMC et A2P	50
Figure C.4 – Tracés réalisés pour une fibre avec un affaiblisseur initialisé respectivement à 0 dB et à 5 dB	51

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE IMPORTANTS POUR LA SÛRETÉ – MÉTHODES DE SURVEILLANCE DE L'ÉTAT DES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES –

Partie 5: Technique de rétrodiffusion

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux.

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

L'IEC travaille en étroite collaboration avec l'IEEE, selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations. Cette norme internationale double logo a été élaborée conjointement par l'IEC et l'IEEE, conformément aux dispositions de cet accord.

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

publication ou de l'utilisation de cette Publication IEC/IEEE ou toute autre publication de l'IEC ou de l'IEEE, ou au crédit qui lui est accordé.

- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur fait que la mise en application de cette Publication IEC/IEEE peut requérir l'utilisation de matériels protégés par des droits de brevet. En publiant cette norme, aucun parti n'est pris concernant l'existence ou la validité de droits de brevet y afférents. Ni l'IEC ni l'IEEE ne peuvent être tenus d'identifier les revendications de brevet essentielles pour lesquelles une autorisation peut s'avérer nécessaire, d'effectuer des recherches sur la validité juridique ou l'étendue des revendications des brevets, ou de déterminer le caractère raisonnable ou non discriminatoire des termes ou conditions d'autorisation énoncés dans le cadre d'un Certificat d'assurance, lorsque la demande d'un tel certificat a été formulée, ou contenus dans tout accord d'autorisation. Les utilisateurs de cette norme sont expressément informés du fait que la détermination de la validité de tous droits de propriété industrielle, ainsi que les risques qu'impliquent la violation de ces droits, relèvent entièrement de leur seule responsabilité.

La Norme internationale IEC/IEEE 62582-5 a été établie par le sous-comité 45A: Systèmes d'instrumentation, de contrôle-commande et électriques des installations nucléaires, du comité d'études 45 de l'IEC: Instrumentation nucléaire, en coopération avec le «Nuclear Power Engineering Committee» de la «Power & Energy Society» de l'IEEE¹, selon l'accord double logo IEC/IEEE entre l'IEC et l'IEEE.

La présente publication est une norme double logo IEC/IEEE.

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

FDIS	Rapport de vote
45A/1008A/FDIS	45A/1021/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

La liste de toutes les parties de la série IEC/IEEE 62582, publiées sous le titre général *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Méthodes de surveillance de l'état des matériels électriques* peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

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

¹ Une liste des participants IEEE est disponible à l'adresse suivante:
http://standards.ieee.org/downloads/62582/62582-5-2015/62582-5-2015_wg-participants.pdf.

INTRODUCTION

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

La présente norme IEC/IEEE s'intéresse plus particulièrement aux méthodes liées à la technique de rétrodiffusion utilisées dans le cadre de surveillance d'état pour la gestion du vieillissement des câbles à fibres optiques intégrés dans les équipements électriques installés dans les centrales nucléaires de puissance.

Cette norme est la cinquième partie de la norme IEC/IEEE 62582. Elle contient une description détaillée de la surveillance d'état basée sur les mesures associées à la technique de rétrodiffusion, réalisées sur des câbles à fibres optiques.

La série de normes IEC/IEEE 62582 est publiée en double logo ce qui la rend applicable pour la gestion du vieillissement des matériels électriques qualifiés tant dans le cadre des normes IEEE que dans celui des normes IEC.

Historiquement, la norme IEEE 323™-2003 a introduit le concept et le rôle complémentaire que pouvait jouer la qualification reposant sur l'état du matériel dans le cadre de la qualification des matériels au niveau de la durée de vie certifiée. Dans le cadre de la qualification du matériel, l'état du matériel pour lequel des performances acceptables ont été prouvées correspond à l'état qualifié. L'état qualifié est l'état de l'équipement prévalant au début d'un événement de dimensionnement, pour lequel il a été démontré que le matériel satisfaisait aux exigences de conception pour les conditions de service spécifiées.

Des recherches importantes ont été réalisées sur les techniques de surveillance de l'état des matériels et l'utilisation de ces techniques dans le cadre de la qualification des matériels, comme indiqué dans les documents NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL-NUREG-52610) et JNES-SS-0903, 2009.

L'objectif de la présente norme est d'être utilisée par les laboratoires d'essai, les exploitants de centrales nucléaires, les évaluateurs de système et par les régulateurs.

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

L'IEC/IEEE 62582-5 est le document du SC 45A de l'IEC de troisième niveau qui traite du problème particulier de l'application et des performances des mesures faites en utilisant des techniques de rétrodiffusion dans le cadre de la gestion du vieillissement des câbles à fibres optiques intégrés dans les équipements électriques installés dans les centrales nucléaires de puissance.

L'IEC/IEEE 62582-5 doit être lue avec l'IEC/IEEE 62582-1, qui fournit les exigences pour l'application des méthodes de surveillance d'état des matériels électriques importants pour la sûreté utilisés dans les centrales nucléaires de puissance.

Pour plus de détails sur la collection de normes du SC 45A de l'IEC, voir le 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.

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

Le document de niveau supérieur de la collection de normes produites par le SC 45A de l'IEC est la norme IEC 61513. Cette norme traite des exigences 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, et structure la collection de normes du SC 45A de l'IEC.

L'IEC 61513 fait 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 des systèmes, les défaillances de cause commune, les aspects logiciels et les aspects matériels relatifs aux systèmes programmés, et la conception des salles de commande. Il convient de considérer que ces normes, de second niveau, forment, avec la norme IEC 61513, un ensemble documentaire cohérent.

Au troisième niveau, les normes du SC 45A de l'IEC, qui ne sont généralement pas référencées directement par la norme IEC 61513, sont relatives à des matériels particuliers, à des méthodes ou à des activités spécifiques. Généralement ces documents, qui font référence aux documents de deuxième niveau pour les activités génériques, peuvent être utilisés de façon isolée.

Un quatrième niveau qui est une extension de la collection de normes du SC 45A de l'IEC correspond aux rapports techniques qui ne sont pas des documents normatifs.

L'IEC 61513 a adopté une présentation similaire à celle de l'IEC 61508, avec un cycle de vie de sûreté d'ensemble et un cycle de vie de sûreté des systèmes. Au niveau sûreté nucléaire, elle est l'interprétation des exigences générales l'IEC 61508-1, de l'IEC 61508-2 et de l'IEC 61508-4 pour le secteur nucléaire, pour ce qui concerne le domaine de la sûreté nucléaire. Dans ce domaine, l'IEC 60880 et l'IEC 62138 correspondent à l'IEC 61508-3 pour le secteur nucléaire. L'IEC 61513 fait référence aux normes ISO ainsi qu'aux documents AIEA GS-R-3 et AIEA GS-G-3.1 et AIEA GS-G-3.5 pour ce qui concerne l'assurance qualité.

Les normes produites par le SC 45A de l'IEC sont élaborées de façon à être en accord avec les principes de sûreté fondamentaux du Code AIEA sur la sûreté des centrales nucléaires, ainsi qu'avec les guides de sûreté de l'AIEA, en particulier avec le document d'exigences SSR-2/1 qui établit les exigences de sûreté relatives à la conception des centrales nucléaires et avec le guide de sûreté NS-G-1.3 qui traite de l'instrumentation et du contrôle commande importants pour la sûreté des centrales nucléaires. La terminologie et les définitions utilisées dans les normes produites par le SC 45A sont conformes à celles utilisées par l'AIEA.

NOTE Il est fait l'hypothèse que pour la conception des systèmes d'I&C qui sont supports de fonctions de sûreté conventionnelle (par exemple pour garantir la sécurité des travailleurs, la protection des biens, la prévention contre les risques chimiques, la prévention contre les risques liés au procédé énergétique) on applique des normes nationales ou internationales, dont les exigences sont comparables à des normes telles que l'IEC 61508.

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION ET CONTRÔLE-COMMANDE IMPORTANTS POUR LA SÛRETÉ – MÉTHODES DE SURVEILLANCE DE L'ÉTAT DES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES –

Partie 5: Technique de rétrodiffusion

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de l'IEC/IEEE 62582-5 présente des méthodes de surveillance du phénomène d'affaiblissement affectant les câbles à fibres optiques intégrés dans les systèmes d'instrumentation et de contrôle-commande en utilisant des techniques de rétrodiffusion, de façon suffisamment détaillée pour obtenir des mesures reproductibles et précises. Elle comprend des exigences concernant les systèmes de mesure et les conditions de mesure, ainsi que les rapports des résultats de mesure.

Les différentes parties de l'IEC/IEEE 62582 sont des normes de mesure, principalement destinées à être utilisées pour la gestion du vieillissement dans le cadre de la qualification initiale et après installation. L'IEC/IEEE 62582-1 fournit des exigences applicables pour toutes les autres parties de l'IEC/IEEE 62582 et certains éléments communs à toutes les méthodes. L'IEEE 323 fournit des informations concernant le rôle de la surveillance de l'état dans la qualification des équipements importants pour la sûreté. Des descriptions détaillées des méthodes de mesures par rétrodiffusion, de la qualité et des fonctionnalités des câbles à fibres optiques sont données dans l'IEC 61280-4-1 pour l'affaiblissement multimodal et dans l'IEC 61280-4-2 pour l'affaiblissement unimodal.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 61746-1, *Etalonnage des réflectomètres optiques dans le domaine temporel (OTDR) – Partie 1: OTDR pour fibres unimodales*

IEC 61746-2, *Calibration of optical time-domain reflectometers (OTDR) – Part 2: OTDR for multimode fibres* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

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

3.1

recuit <curatif de l'affaiblissement induit par les rayonnements>

traitement d'une fibre optique par la température (recuit thermique) et/ou par transmission de puissance lumineuse (photoblanchiment) pour récupérer de l'effet d'affaiblissement induit par les rayonnements

Note 1 à l'article: Le recuit est fonction de la matière de la fibre et du débit de dose et de l'exposition.

3.2

temps du recuit de l'affaiblissement

temps nécessaire pour faire décroître le niveau d'affaiblissement (par exemple de ½ ou de 1/e) atteint juste après la fin de l'irradiation

3.3

fibre à gradient d'indice

fibre optique ayant un profil d'indice à gradient selon lequel l'indice de réfraction varie de façon continue dans le cœur en fonction de la distance à l'axe

[SOURCE: 60050-731:1991, 731-02-11 et 731-02-15, modifiés]

3.4

indice de réfraction

l'indice de réfraction (indice de groupe) est défini comme suit:

$$IDR = c/c_{\text{fibre}} \quad (1)$$

où

IDR est l'indice de réfraction;

c est la vitesse de lumière dans le vide (299 792 458 m/s);

c_{fibre} est la vitesse de lumière dans la fibre.

IDR détermine la longueur du câble pour lequel la mesure de rétrodiffusion est faite.

3.5

affaiblissement optique

$A(\lambda)$

mesure de la réduction du pouvoir de transmission de la lumière par une fibre pour une longueur d'onde donnée déterminée comme suit:

$$A(\lambda) = | 10 \lg (P1(\lambda)/P2(\lambda)) | \quad (2)$$

où

$A(\lambda)$ est l'affaiblissement exprimé en dB pour la longueur d'onde λ ;

$P1(\lambda)$ est la puissance lumineuse traversant une première section transversale (marqueur 1);

$P2(\lambda)$ est la puissance lumineuse traversant une seconde section transversale (marqueur 2).

Note 1 à l'article: L'affaiblissement dépend de la nature, de la longueur et de l'état de la fibre, il est aussi sensible aux conditions de mesure.

Note 2 à l'article: Le terme perte est utilisé comme synonyme d'affaiblissement dans la présente norme.

3.6

coefficient d'affaiblissement optique

$a(\lambda)$

affaiblissement par unité de longueur calculé comme suit:

$$a(\lambda) = A(\lambda)/L \quad (3)$$

où L est la longueur exprimée en km.

3.7

réflectomètre dans le domaine du temps

RDT

appareil permettant de caractériser une fibre optique en injectant une impulsion optique à une extrémité de la fibre, puis en mesurant en fonction du temps la puissance rayonnante rétrodiffusée ou réfléchie vers cette extrémité

[SOURCE: IEC 60050-731:1991, 731-07-08, modifié]

3.8

fibre à saut d'indice

fibre ayant une âme dont l'*IDR* est uniforme

Note 1 à l'article: Le saut est dû à l'espace entre l'âme et la gaine qui a un *IDR* inférieur.

4 Abréviations et acronymes

Al	Aluminium
A/D	Analogue/digital
F	Fluor
FEE	Fibre en essai
Ge	Germanium
GI	Gradient d'indice
<i>IDR</i>	Indice de réfraction (indice de groupe)
AMC	Approximation des moindres carrés
HO	Ion hydroxyde
RDT	Réflectomètre dans le domaine du temps
P	Phosphore
AIR	Affaiblissement induit par les rayonnements
Si	Silicium
SI	Saut d'indice
RSB	Rapport signal/bruit
UV	Ultra-violet
A2P	Approximation deux points

5 Description générale

La mesure par rétrodiffusion est une technique de mesure permettant d'évaluer les caractéristiques d'une fibre optique en faisant transiter une impulsion lumineuse dans la fibre optique et en mesurant la puissance lumineuse dispersée et réfléchie vers l'origine en fonction du temps. Le résultat de la mesure est le coefficient d'affaiblissement (en dB/km).

Les mesures par rétrodiffusion sont utiles pour estimer le coefficient d'affaiblissement des fibres présentant un affaiblissement uniforme et pour identifier les défauts locaux et les pertes locales. La méthode donne des résultats qui sont précis, reproductibles et en rapport avec l'utilisation de la fibre sur le terrain.

Des détails concernant l'uniformité de l'affaiblissement des fibres optiques sont fournis dans l'IEC TR 62033.

6 Applicabilité et reproductibilité

La présente Norme internationale couvre uniquement l'utilisation d'un RDT à des fins de surveillance de l'affaiblissement des fibres optiques et des câbles optiques dans le cadre de la gestion du vieillissement. Concernant l'intégrité mécanique de la fibre, la méthode présentée n'est pas adaptée pour la surveillance de l'état de la fibre.

En général les fibres optiques sont sensibles au vieillissement, par exemple à l'exposition aux rayonnements ionisants, ce qui se manifeste par une augmentation de l'affaiblissement optique, voir aussi les Annexes A et B. L'affaiblissement (exprimé en dB/km) est utilisé comme un indicateur du vieillissement pour les câbles optiques comme pour les câbles hybrides (électro-optiques), auxquels on accède sur site alors qu'ils sont opérationnels dans des environnements nucléaires.

Les mesures par rétrodiffusion permettent l'analyse de l'état de la fibre dans son ensemble en particulier pour des sous sections longitudinales de la fibre ou même l'identification de points particulier tels que des raccords de fibre. Celles-ci permettent aussi de calculer la longueur des fibres, même si cela est hors domaine de la présente norme.

Les câbles optiques utilisés pour les applications liées à la sûreté dans les centrales nucléaires peuvent être plus courts que ceux utilisés dans d'autres applications génériques. Les mesures réalisées sur des câbles optiques courts (< 500 m) nécessitent l'utilisation d'instruments de mesure par rétrodiffusion à haute résolution.

La mesure par rétrodiffusion est fonction de la vitesse de propagation et du comportement dispersif et réfléchissant de la fibre. Une meilleure précision est obtenue en mesurant l'affaiblissement à partir des deux extrémités de la fibre et en moyennant les deux tracés de rétrodiffusion. En conséquence, les mesures doivent être normalement répétées à chaque extrémité de la fibre. Cela est particulièrement utile lorsqu'on découvre de façon inattendue des discontinuités. Cependant, l'amélioration obtenue au niveau précision par des mesures aux deux extrémités est limitée et les mesures réalisées à une extrémité seulement sont acceptables lorsque les deux extrémités ne sont pas accessibles.

7 Procédure de mesure par rétrodiffusion

7.1 Généralités

Pour réaliser la surveillance de l'état d'un segment de câble, il faut qu'un canal de supervision soit accessible pour faire les mesures par rétrodiffusion. Ce peut être une fibre de secours disponible au niveau de chaque segment de câble, ou bien un multiplexeur de canal ou bien on peut utiliser une longueur d'onde pour la rétrodiffusion qui ne perturbe pas la transmission de données dans la fibre (ou vice versa) en utilisant des séparateurs.

7.2 Instrumentation

Un RDT peut être constitué d'un certain nombre de parties, ou de modules qui assurent les fonctions demandées. Cela comprend un générateur de signal impulsif (diode laser), un détecteur, des fonctions de traitement du signal et d'affichage. L'appareil offrira aussi des moyens pour brancher le câble en essai, tels qu'un coupleur directionnel et un connecteur pour la fibre. Une configuration de RDT est présentée à la Figure 1.

Le contact établi entre la fibre côté appareil (cordon adaptateur) et la FEE doit être tel qu'il permet de répéter l'essai; il doit être propre et il ne doit pas y avoir d'impureté à ce niveau. Un raccord de jonction mécanique est généralement utilisé pour réaliser le contact.

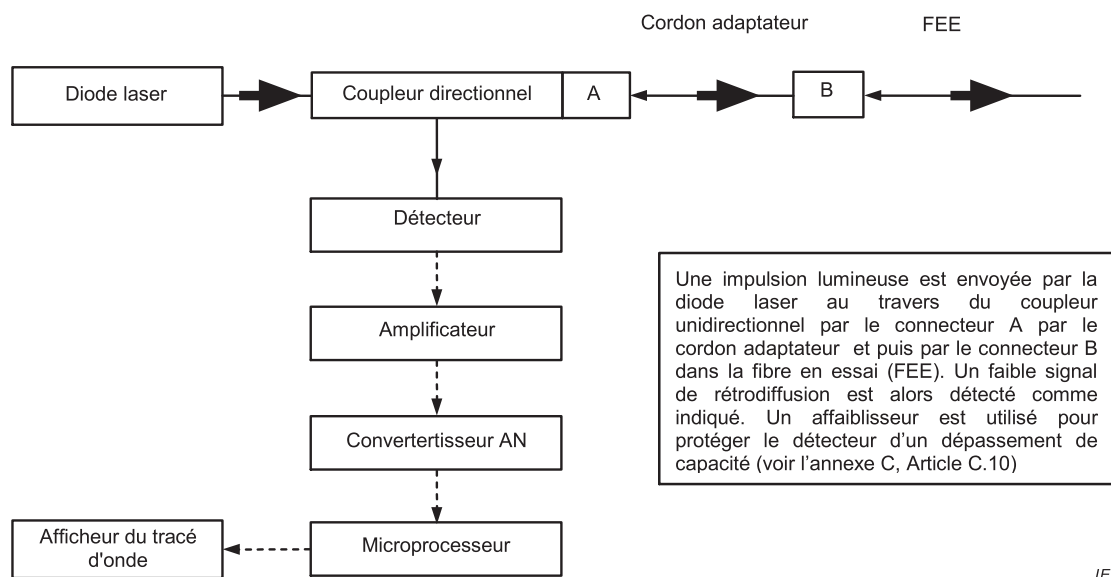
Le RDT doit offrir une gamme dynamique suffisante pour permettre de réaliser la mesure sur la FEE.

L'appareil peut offrir la possibilité de changer la longueur d'onde des impulsions d'essai. De plus, le RDT peut permettre de fonctionner en configuration unimodale ou en configuration multimodale.

On distingue généralement deux parties principales pour les RDT de conception classique. Celles-ci correspondent tout d'abord à l'unité principale comprenant un microprocesseur et le moyen d'affichage du tracé d'onde et ensuite une unité à brancher qui intègre la diode laser, le détecteur, le coupleur unidirectionnel et le connecteur à la fibre. Différentes unités à brancher qui correspondent à différentes longueurs d'onde peuvent être utilisées ensemble avec la même unité principale. Les unités à brancher peuvent être adaptées soit aux applications multimodales soit aux applications unimodales.

Une configuration du RDT est présentée en Figure 1.

Une séquence d'impulsions lumineuses est envoyée par la diode laser, et est transmise via un coupleur directionnel optique et un connecteur optique à la fibre. La lumière rétrodiffusée, suivant la loi de Rayleigh, est réfléchi en retour au RDT au travers du connecteur et est transmise par le coupleur unidirectionnel au détecteur. Le détecteur convertit la lumière en signal analogique qui est amplifié et envoyé à un convertisseur A/D. Un microprocesseur réalise le traitement du signal numérique et gère la présentation de l'affichage du tracé d'onde. Le cordon adaptateur fait généralement 1 km à 2 km de long et peut avoir un effet d'affaiblissement. Il est généralement raccordé à la FEE au moyen d'un raccord mécanique. Ainsi les impuretés sont évitées au niveau du connecteur du RDT.



IEC

Figure 1 – Blocs fonctionnels du RDT

7.3 Longueurs d'onde de mesure

Pour les fibres unimodales il est recommandé de réaliser la mesure d'affaiblissement pour les longueurs d'ondes de 1 310 nm, 1 550 nm et 1 625 nm. Pour les fibres multimodales il est recommandé réaliser la mesure d'affaiblissement pour les longueurs d'ondes 850 nm et 1 300 nm. Si des longueurs d'onde autres que celles-ci sont utilisées sur le terrain, l'affaiblissement pour ces longueurs d'onde doit être en plus mesuré.

7.4 Etalonnage

Les équipements constitutifs du RDT doivent être étalonnés, y compris l'horloge interne (pour la précision de la temporisation) et l'émetteur laser (pour l'énergie des impulsions et leurs

durées). L'étalonnage doit être réalisé conformément à l'IEC 61746-1 pour les fibres unimodales et à l'IEC 61746-2 pour les fibres multimodales.

7.5 Précautions à prendre pour réaliser les mesures par rétrodiffusion

Des mesures par rétrodiffusion consécutives et comparatives doivent être réalisées en utilisant les mêmes paramètres, particulièrement ceux correspondants à l'énergie et la durée des impulsions. De plus la longueur d'onde de fonctionnement pour la surveillance de l'état de l'équipement doit être choisie dans la gamme des longueurs d'onde qui sont transmissibles par la FEE et en exploitation. Une attention particulière doit être portée à la puissance lumineuse maximale qui peut être transmise. Pour éviter le photoblanchiment la puissance doit être limitée pour être inférieure ou égale à 1 μ W. Les valeurs des paramètres utilisés doivent être enregistrées et notées dans la documentation. Des recommandations concernant la sélection des paramètres de mesures sont données en Annexe C.

Le vieillissement et un affaiblissement supplémentaire peuvent rendre nécessaire l'augmentation de la durée et du temps de calcul des moyennes, ainsi que nécessiter de déplacer les marqueurs, voir l'Annexe C.

7.6 Conditionnement

Pour réaliser des mesures en laboratoire après un vieillissement thermique artificiel, les spécimens doivent être conditionnés à la température du laboratoire (25 ± 5) °C et à son taux d'humidité relative de 45 % à 75 % durant au moins 3 h avant la mesure.

Pour réaliser des mesures après une exposition artificielle aux rayonnements ionisants, les mesures par rétrodiffusion doivent être faites aussitôt que possible après l'exposition. La température du laboratoire doit être de (25 ± 5) °C et son taux d'humidité relative compris entre 45 % et 75 %. La température à laquelle des mesures sont faites et le temps entre la fin de l'exposition et le début des mesures doivent être notés dans la documentation.

NOTE Du fait du recuit, l'effet d'affaiblissement dû au vieillissement conséquence de l'exposition aux rayonnements ionisants disparaîtra dès la fin de l'exposition. Le taux de disparition dépend de la température ambiante – plus la température est élevée plus la disparition de l'effet est rapide, voir l'Annexe B.

Concernant les mesures réalisées sur le terrain, la température ambiante doit être notée.

7.7 Mesure par rétrodiffusion

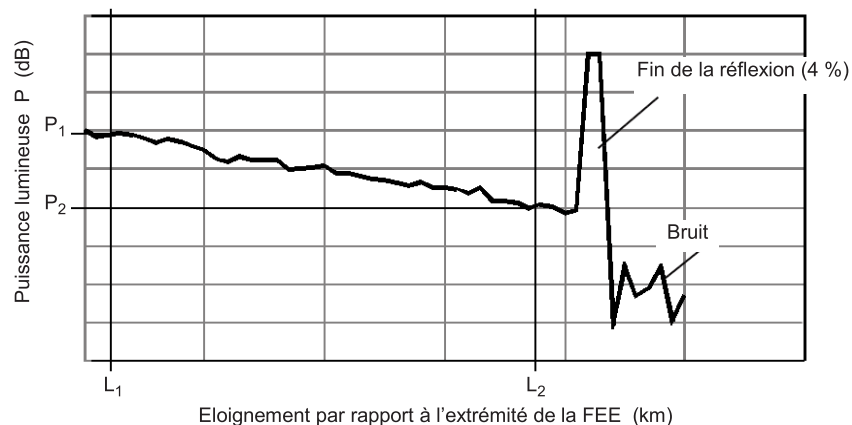
Avant de commencer le programme de surveillance de l'état des équipements, tous les paramètres du RTD doivent être déterminés et fixés, de façon à optimiser les mesures, en termes de précision comme en termes de temps d'acquisition. Les paramètres suivants doivent être choisis, enregistrés pour les mesures consécutives et notés dans la documentation:

- points de mesure (marqueur 1 et marqueur 2 dans la Figure 2);
- longueur d'onde d'essai;
- durée d'impulsion;
- éloignement (l'instrument choisit le niveau de puissance lorsque la gamme de distance a été initialisée);
- type de branchement réalisé entre le cordon adaptateur et la FEE;
- nombre d'impulsions pour faire les moyennes;
- coefficient de rétrodiffusion;
- *IDR* (indice de groupe).

Des recommandations pour la sélection des paramètres sont données en Annexe C.

Une durée d'impulsion doit être choisie suffisamment longue pour obtenir une trace au niveau du RDT qui permette de visualiser l'ensemble de la FEE, et qui soit suffisamment courte pour atteindre l'optimum en matière de résolution. La répétition des mesures peut être nécessaire, en utilisant des durées plus ou moins longues pour les impulsions de façon à optimiser la résolution.

La Figure 2 présente un tracé classique de RDT correspondant à la puissance reçue en rétrodiffusion par rapport à la distance le long de la FEE avec les valeurs d'initialisation et les résultats calculés. La Figure 3 donne deux exemples de défauts possibles sur le câble identifiés par le RDT.



Valeurs choisies et leurs initialisations

Eloignement = 18 km
Echelle horizontale = 250 m/div
Echelle verticale = 0,1 dB/div
Longueur d'onde = 1 550 nm
Durée de l'impulsion = 1 μ s
Affaiblisseur = 5,0 dB
IDR = 1,500 0
Mesure de perte de transmission activée (perte)
MMC choisie comme méthode d'approximation
 L_1 choisie à 0,050 km
 L_2 choisie à 0,950 km

Résultats calculés

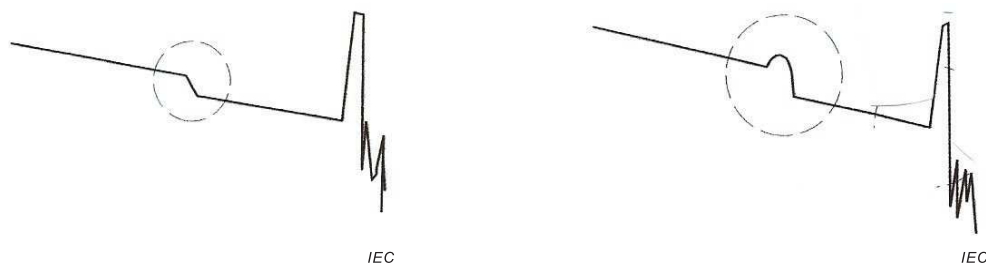
Affaiblissement entre les marqueurs $P_1 - P_2 = 0,18$ dB
Distance entre les marqueurs $L_2 - L_1 = 0,9$ km
Coefficient d'affaiblissement $(P_1 - P_2) / (L_2 - L_1) = 0,20$ dB/km

IEC

Légende

L_1 position du marqueur 1
 L_2 position du marqueur 2
 P_1 puissance (en dB) à la position du marqueur 1
 P_2 puissance (en dB) à la position du marqueur 2

Figure 2 – Tracé d'onde typique du RDT – Puissance rétrodiffusée par rapport à la distance (km)



a) Affaiblissement dû à un pli

b) Affaiblissement dû à une rupture de la fibre

Figure 3 – Exemples de défauts

Les mesures doivent déterminer l'affaiblissement moyen (en dB/km) sur la longueur de la fibre mesurée et l'affaiblissement local pour les discontinuités (raccords, défauts, etc.). Des éléments portant sur le calcul des moyennes et les facteurs affectant le RSB sont donnés en Annexe C, Article C.5.

En cas de dégradation du RSB en présence de rayonnements, le tronçon de fibre en surveillance doit être diminué en conséquence, de façon à obtenir un coefficient d'affaiblissement par régression linéaire avec un écart type supérieur à 0,9. Le tronçon de fibre utilisé pour l'estimation du coefficient d'affaiblissement doit comprendre un minimum de 50 points de mesure.

7.8 Erreurs de mesure

Concernant les erreurs de mesure, il est fait référence à l'IEC 61280-4-2 en unimodal et à l'IEC 61280-4-1 en multimodal.

7.9 Rapport d'essai

Les données utilisées pour la surveillance de l'état des câbles à fibres optiques et de ses composants doivent être structurées dans un rapport ou dans un fichier pouvant faire l'objet d'audit. Le rapport de mesure doit au minimum contenir les informations suivantes:

- a) Numéro, identification et description du spécimen, ceci comprenant les matériaux de composition.
- b) Historique concernant le spécimen (non vieilli, vieilli artificiellement, vieilli naturellement).
- c) Lieu de mesure (laboratoire, sur site).
- d) Pour des mesures en laboratoire sur des spécimens thermiquement vieillis de façon artificielle: le temps nécessaire pour que la température atteigne l'équilibre avec celle du laboratoire avant de réaliser les mesures (intervalle de temps entre le retrait du spécimen sortant de l'étuve et le début des mesures).
- e) Pour des mesures en laboratoire sur des spécimens vieillis du fait des rayonnements ionisants: le temps séparant la fin de l'exposition aux rayonnements et le début des mesures.
- f) Température ambiante mesurée à laquelle sont réalisées les mesures.
- g) Instrumentation de mesure, date du dernier étalonnage et référence du certificat d'étalonnage.
- h) Conditions de mesure, y compris la puissance lumineuse transmise, la durée des impulsions, la longueur d'onde de fonctionnement, les points de mesure, la gamme de distances, le nombre d'impulsions pour réaliser les moyennes, le coefficient de rétrodiffusion et *IDR*.
- i) Le branchement du spécimen pour les mesures («dummy spool», diviseur de puissance, commutateur).
- j) Les pertes relatives aux raccords dans le cas où plusieurs câbles sont raccordés en série.
- k) Analyse des anomalies d'essai, le cas échéant.
- l) Coefficient d'affaiblissement exprimé en dB/km pour chacune des longueurs d'onde. La valeur moyenne sur toute la longueur de la fibre mesurée doit être donnée, avec les valeurs aux points de discontinuité (défauts, raccords, etc.). Il est recommandé d'intégrer une courbe représentant l'affaiblissement par rapport à la distance. Il convient que la cause des discontinuités soit identifiée et notée dans le rapport.
- m) Toute autre information d'importance pour l'interprétation des résultats de mesure en rapport avec les objectifs de mesure.

Annexe A (informative)

Facteurs d'influence des mesures d'affaiblissement des systèmes à fibre optique

A.1 Généralités

Plusieurs facteurs peuvent influencer la mesure de l'affaiblissement du signal dans un système à fibre optique. Parmi ceux-ci:

- a) température;
- b) humidité;
- c) courbure;
- d) puissance lumineuse transmise;
- e) raccord d'interface.

A.2 Température et humidité

L'affaiblissement du signal est inversement proportionnel à la température, ainsi plus la température est basse, plus l'affaiblissement du signal est important. Cette relation proportionnelle inverse avec la température sera à prendre en compte lorsqu'on analysera les informations concernant la surveillance de l'état. Cette évolution de l'affaiblissement du signal du câble peut ne pas être monotone.

L'humidité peut produire un affaiblissement supplémentaire pour la fibre considérée. Cela sera à prendre en compte pour l'essai. Les variations du niveau d'humidité pour des essais consécutifs peut influencer l'affaiblissement du signal d'une façon non monotone.

A.3 Courbure

La courbure du câble peut avoir un effet sur l'affaiblissement de la fibre. Si le rayon de courbure du câble change, cela peut modifier l'effet d'affaiblissement du câble, de sorte que l'interprétation des résultats peut être faussée. Dans ces circonstances, la prise d'une nouvelle référence de départ peut être nécessaire.

A.4 Puissance lumineuse transmise

Le signal ou la source lumineuse utilisé pour tester le câble à fibre optique peut avoir pour conséquence un photoblanchiment qui peut réduire l'effet d'affaiblissement au niveau de la fibre (voir B.2.2.6). Cela est pris en compte en utilisant un niveau de puissance en essai qui est le même que celui utilisé en service, mais pas supérieur à 1 μW .

A.5 Raccord d'interface

Un affaiblissement supplémentaire peut apparaître au niveau du raccord d'interface et il convient que cela soit pris en compte en définissant l'origine pour le calcul de l'affaiblissement de la FEE.

Annexe B (informative)

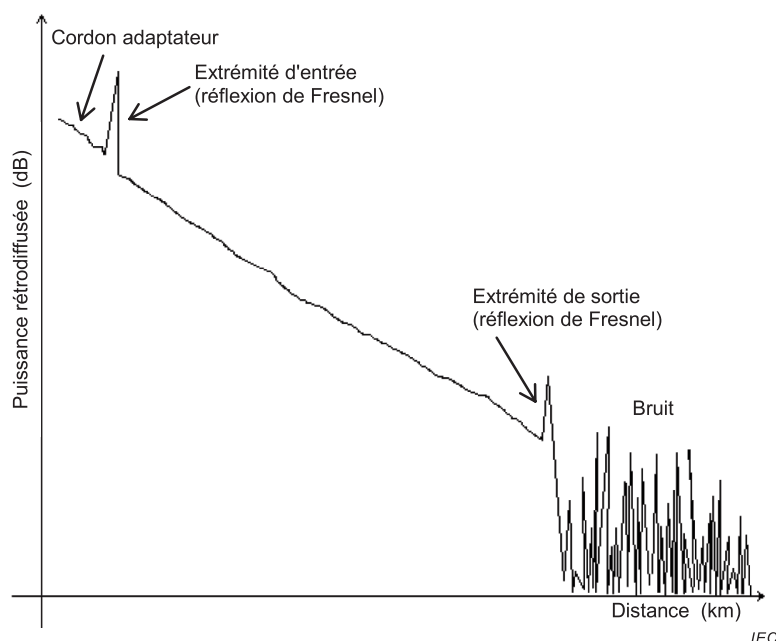
Vieillissement et endommagement des fibres optiques dans les centrales nucléaires de puissance

B.1 Facteurs d'influence du vieillissement

B.1.1 Généralités

Une fibre en vieillissant fait face à l'endommagement mécanique et l'effet d'affaiblissement augmente. La présente Norme internationale traite de l'effet d'affaiblissement de la fibre. Une fibre optique comprend une zone vitreuse interne (l'âme et son revêtement) et à l'extérieur une épaisseur de revêtement (généralement en deux couches). L'augmentation de l'effet d'affaiblissement produite par le vieillissement peut être due à un problème lié au revêtement ou au verre.

Si du fait d'un vieillissement homogène, la totalité de la longueur de la fibre est endommagée cela se traduira par une pente supérieure plus élevée observable sur toute la courbe représentant l'effet de rétrodiffusion, voir la Figure B.1. Si seulement certains tronçons de la fibre sont endommagés du fait d'un vieillissement non homogène, la courbe présentera une pente plus élevée pour ces tronçons.



B.1.2 Vieillissement thermique

Le vieillissement thermique peut entraîner une rétraction ou un relâchement des polymères. Cela peut engendrer un effet d'affaiblissement supplémentaire au niveau de la fibre du à des micro-courbures. De plus, de l'hydrogène peut être émis par des matières organiques entraînant une augmentation de l'effet d'affaiblissement au niveau de la fibre. Il y a des méthodes qui permettent de réduire ou d'éliminer ces effets. Une de ces méthodes est l'utilisation de réducteur d'hydrogène dans le câble. Le vieillissement du réducteur

d'hydrogène (utilisé pour absorber l'hydrogène) peut avoir une influence sur l'effet d'affaiblissement.

B.2 Vieillissement dû aux rayonnements ionisants

B.2.1 Généralités

Les rayonnements peuvent avoir une influence sur de nombreuses propriétés caractéristiques des fibres optiques en fonction de facteurs tels que:

- a) Les caractéristiques associées à la fabrication:
 - type de fibre (unimodale, GI,SI);
 - renforcement de l'âme de la fibre, renforcement du revêtement (pour les fibres unimodales);
 - procédé de fabrication, y compris l'utilisation de préformes;
 - matériaux constitutifs de l'âme et du revêtement;
 - présence de HO;
 - matériaux constitutif du revêtement extérieur;
 - conditions de tirage du câble.
- b) Conditions de fonctionnement:
 - longueur d'onde;
 - puissance lumineuse;
 - conditions d'émission;
 - périodes de recuit.
- c) Environnement:
 - dose intégrée;
 - débit de dose;
 - température;
 - stress mécanique.

L'IEC TR 62283 fournit une étude complète sur l'exposition aux rayonnements dans certains environnements et pour certaines applications et sur l'impact sur les fibres.

B.2.2 Augmentation de l'effet d'affaiblissement

B.2.2.1 Généralités

L'effet le plus évident résultant d'une exposition aux rayonnements ionisants est l'augmentation de l'effet d'affaiblissement (AIR l'affaiblissement induit par les rayonnements). Il est observable pour tous les types de rayonnements et pour toutes les fibres même à des niveaux de dose faible. L'augmentation de l'effet d'affaiblissement est lié au développement de zones centrées colorées qui ont un effet très pénalisant au niveau affaiblissement optique dans les gammes du spectre couvrant les UV, la lumière visible et le proche infrarouge (voir la Figure B.2). Une zone centrée colorée est un défaut du réseau cristallin d'un cristal qui concerne les ions négatifs et les liaisons entre électrons. De tels défauts vont absorber la lumière et avoir pour conséquence la coloration des cristaux normalement incolores et transparents. Cela veut dire que la longueur d'onde de la lumière transmise peut varier par rapport à la lumière introduite dans la fibre du fait de la présence de ces zones centrées colorées.

Il n'existe pas de description théorique, ni de modèle déterministe qui pourrait permettre de prédire les effets des rayonnements sur les fibres optiques. Les modèles empiriques qui ont

été développés, peuvent être utilisés pour aller au-delà des données expérimentales concernant la gamme des paramètres obtenus pour les différents produits.

B.2.2.2 Types de fibre

Les différents types de fibre présentent différentes sensibilités aux rayonnements. Même s'il est pratiquement impossible de prédire la sensibilité aux rayonnements pour des fibres optiques particulières, on peut quand même faire certaines remarques générales. De loin, le facteur le plus important, est la substance dopante utilisée pour la fibre. L'Al (qui est utilisé généralement en combinaison avec des terres rares) et le P sont connus pour avoir comme conséquence un AIR très important. D'un autre côté, pour les fibres à âme de silice pure de très haute qualité, l'affaiblissement induit par les rayonnements a tendance à être plus faible (voir la Figure B.2). Pour des fibres unimodales, il convient de prendre en compte en particulier le dopant utilisé au niveau du revêtement interne. Le matériau de revêtement externe et les autres paramètres liés à la fabrication ont aussi une influence sur la sensibilité aux rayonnements.

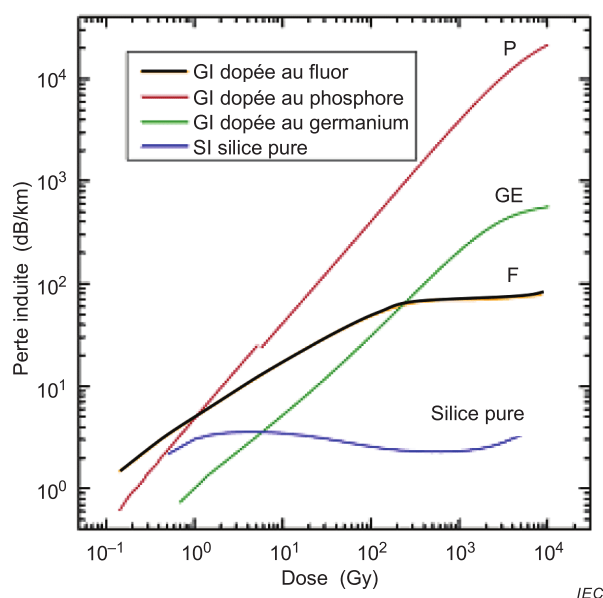


Figure B.2 – AIR pour différents types de fibre²

B.2.2.3 Historique de l'exposition aux rayonnements

Les différents types de fibre présentent des différences au niveau de l'augmentation de l'affaiblissement lorsque celles-ci sont exposées une deuxième fois dans des conditions identiques à la première. Certains types de fibre présentent une augmentation de l'affaiblissement plus élevée et d'autres types une augmentation moins élevée. D'autres fibres atteignent très rapidement le niveau d'affaiblissement constaté lors de la première irradiation. Cela dépend aussi de la durée entre les irradiations successives et de l'affaiblissement résiduel conséquence de l'irradiation initiale, à savoir du comportement sur le recuit curatif de l'affaiblissement.

B.2.2.4 Relation avec la longueur d'onde

L'affaiblissement induit par les rayonnements dépend fortement pour toutes les fibres de la longueur d'onde de la lumière transmise. Il y a un maximum prononcé pour les UV, avec un affaiblissement plus de 100 fois supérieur à l'affaiblissement minimal mesuré pour d'autres

² Tiré de KUHNHENN, J., HENSCHER, H., HÖFFGEN, S.K., WEINAND, U (2008), listé dans la Bibliographie.

régions spectrales (voir la Figure B.3). Ce facteur dépend du type de fibre et de la dose d'irradiation.

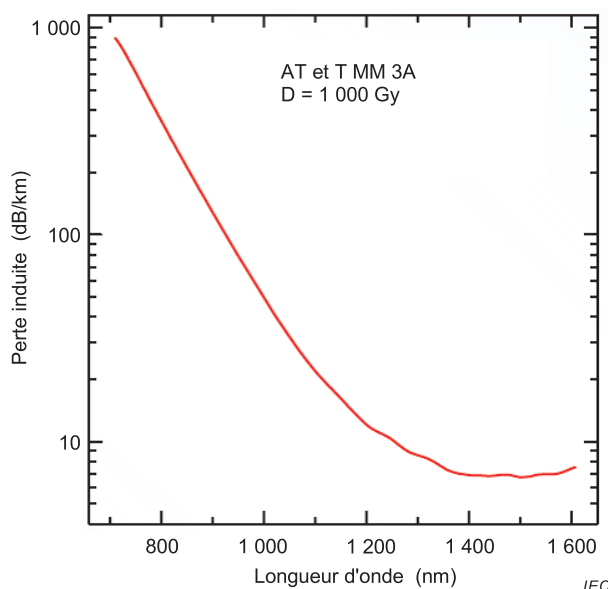


Figure B.3 – Exemple d'AIR en fonction de la longueur d'onde pour une fibre optique³

B.2.2.5 Relation avec la température

L'AIR décroît pour presque tous les types de fibre avec l'augmentation de la température. La raison en est que le recuit des zones centrées colorées est accéléré avec l'augmentation de la température («recuit thermique»).

B.2.2.6 Relation avec la puissance lumineuse, photoblanchiment

Pour certaines fibres optiques on a pu observer que l'AIR peut dépendre de l'intensité de la lumière utilisée pour la mesure de l'affaiblissement. Cet effet est connu sous le nom de «photoblanchiment», à savoir la vitesse de recuit de la zone centrée colorée augmente en fonction de la lumière transmise. En limitant la puissance lumineuse du RDT pour quelle soit inférieure ou égale à 1 μ W, le photoblanchiment n'aura pas d'impact sur les résultats de mesure pour les appareils de transmission optique généralement utilisés.

B.2.2.7 Relation avec le débit de dose

Pour les fibres présentant une vitesse de recuit modérée ou élevée, l'influence sur l'affaiblissement d'une certaine dose de rayonnement ionisant est plus importante pour un débit de dose élevé que pour un débit de dose plus faible. La relation de l'AIR avec le débit de dose dépend du type de fibre et est lié au temps de recuit. Plus le recuit est rapide, plus l'effet du débit de dose est important. Cela peut être expliqué par la variation du nombre de zones centrées colorées qui apparaissent et disparaissent: plus le débit de dose est faible, plus long est le temps nécessaire pour atteindre une dose, et plus de zones centrées colorées sont recuites durant l'irradiation. L'état de saturation est atteint lorsque la vitesse d'apparition des zones centrées colorées est égale à la vitesse de disparition des zones par recuit. Comme la vitesse de recuit est proportionnelle au nombre de zones centrées colorées existantes (à savoir à l'affaiblissement induit), la valeur de l'affaiblissement à saturation augmentera avec le débit de dose. L'effet du débit de dose est négligeable pour les fibres qui ne sont pas sensibles au recuit ou dont le recuit est très lent.

³ Tiré de KUHNHENN, J., HENSCHER, H., HÖFFGEN, S.K., WEINAND, U (2008), listé dans la Bibliographie.

B.2.2.8 Temps du recuit de l'affaiblissement

Le temps de recuit de l'affaiblissement est fonction du matériau constitutif de la fibre.

B.2.2.9 Evolution de l'indice de réfraction et de la bande passante

La loi de dispersion de Kramers-Kronig, établit que l'augmentation de l'affaiblissement modifie aussi l'*IDR*. Avec des fibres à gradient d'indice, l'affaiblissement induit par les rayonnements, et l'évolution de l'*IDR*, peuvent dépendre des concentrations respectives en produit dopant. L'évolution du profil d'*IDR* dû à l'irradiation entraîne l'évolution de la bande passante. Une augmentation comme une réduction de la bande passante est possible. Avec un tronçon de fibre plus long, la dégradation de la bande passante n'est observable que lorsque le niveau d'AIR atteint des valeurs élevées inacceptables.

Annexe C (informative)

Recommandations portant sur le choix des paramètres de mesure

C.1 Choix de gamme de distances

La gamme de distances (parfois appelée 'gamme de mesures') est la distance séparant deux impulsions consécutives émises par la diode laser. Plus la fibre objet de la mesure est longue, plus la diode laser doit attendre avant de réémettre une autre impulsion, car on ne peut avoir qu'une seule impulsion transitant dans la fibre. La gamme de distances est exprimée en unité de longueur [km]. La valeur d'initialisation de la gamme est supérieure à la longueur de la fibre objet de la mesure (parfois deux fois supérieure, autrement des effets indésirables tels que des pics fantômes peuvent être observés), mais cependant on la minimise autant que possible pour réduire le temps de mesure.

C.2 Choix de la durée d'impulsion et définition de la zone morte

La largeur des impulsions peut être spécifiée comme un temps [μ s, ns] ou comme une longueur [m]. Plus la durée d'impulsion est importante, plus la puissance transmise dans la fibre est importante et plus longues sont les longueurs qu'on peut mesurer (augmentation de la gamme dynamique). Les choix possibles de la durée d'impulsion dépendent du matériel et de la gamme de distance choisie. Une durée d'impulsion plus courte permet néanmoins d'obtenir une meilleure résolution spatiale pour la mesure de longueur et la détection des défauts, et correspond à une zone morte plus courte. L'emploi de raccords mécaniques (verre-air-verre) produit un phénomène de réflexion lumineuse. Cette réflexion aveuglera le détecteur et la conséquence est une zone qu'on ne peut mesurer, appelée aussi zone morte, située immédiatement après le point de réflexion.

C'est aussi le cas au départ du tracé correspondant à l'entrée dans la fibre, du fait du connecteur de l'appareil et des autres points de raccord. La longueur de la zone morte dépend de l'importance de la réflexion. Une longue impulsion et une connexion de mauvaise qualité (raccord mécanique) auront pour résultat un phénomène de réflexion important et une zone morte importante. La longueur peut varier de quelques dizaines de mètres à des centaines de mètres.

C.3 Choix de la longueur d'onde

La plupart des RDT comportent une unité de connections utilisable pour plusieurs longueurs d'onde (λ). En utilisant plusieurs longueurs d'onde il est possible d'analyser quel type de défaut est dominant pour une discontinuité apparaissant dans la courbe.

C.4 Choix et position des marqueurs

Pour mesurer l'affaiblissement, deux marqueurs sont normalement utilisés, voir la Figure C.1. Le premier marqueur est placé au départ du tracé correspondant à l'entrée dans la fibre et le second marqueur est placé juste avant l'augmentation apparaissant en fin de réflexion. Le résultat peut être présenté soit comme une valeur absolue [dB] soit comme l'affaiblissement par unité de longueur [dB/km].

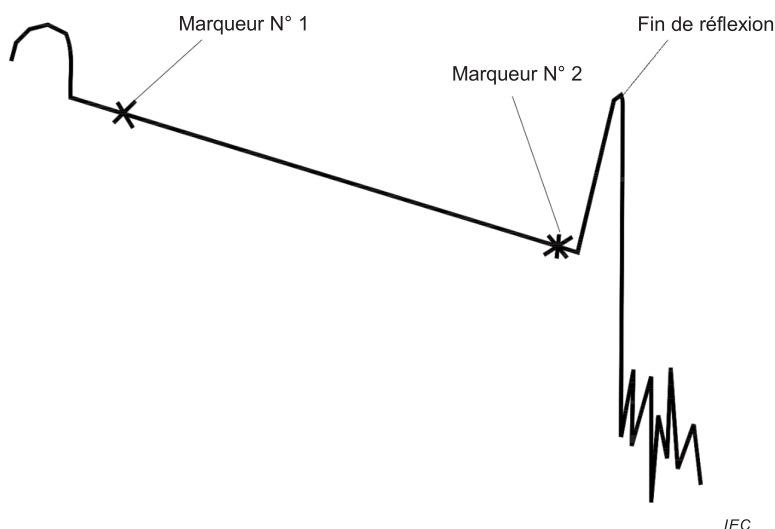


Figure C.1 – Marqueurs de mesure de l'affaiblissement

Pour mesurer les pertes aux raccords, cinq marqueurs sont utilisés, voir la Figure C.2. Le marqueur médian (3) est placé au point d'inflexion de la pente, qu'elle augmente ou qu'elle diminue. Les marqueurs 1 et 2 sont placés sur la première fibre alors que les marqueurs 4 et 5 le sont sur la deuxième fibre. Cela est souvent fait automatiquement mais il se peut qu'il soit nécessaire d'ajuster les marqueurs manuellement. Le RDT trace une droite à l'aide des marqueurs 1, 2 et une à l'aide des marqueurs 4, 5, en utilisant la méthode d'approximation choisie. La perte au raccord correspond à l'écart entre les deux droites au niveau du marqueur 3. L'affaiblissement provoqué par la fibre est la différence entre les valeurs mesurées aux marqueurs 1 et 5 moins la perte au raccord.

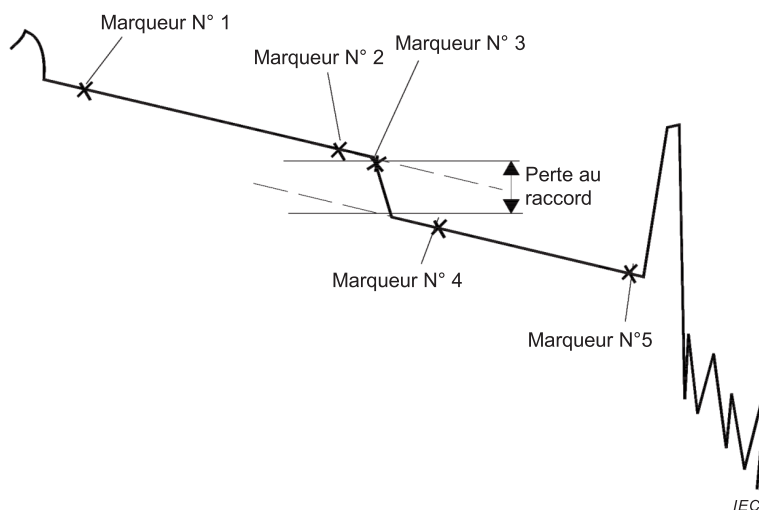


Figure C.2 – Marqueurs de mesure de la perte au raccord

Le marqueur choisi peut être déplacé avec une mollette ou en pressant une touche fonction. Les mises à l'échelle horizontale ou verticale (effet zoom) sont ajustées autour du marqueur choisi. Ce marqueur est souvent représenté à l'aide d'un curseur.

C.5 Choix de la méthode du calcul de la moyenne

Le calcul de la moyenne peut être réalisé comme la moyenne des affaiblissements calculés pour chaque mesure (par AMC) ou en faisant la moyenne des valeurs mesurées aux marqueurs, l'affaiblissement correspondant à la différence entre ces valeurs moyennes (par A2P), voir Figure C.3. Le RDT peut être paramétré pour chaque méthode. Le calcul de la moyenne est fait pour améliorer le RSB et pour obtenir une empreinte moins influencée par le bruit. La durée et le nombre de points nécessaires pour calculer la moyenne sont fonction des paramètres d'initialisation de la gamme de distances, de la durée d'impulsion et de la longueur de la fibre objet de la mesure.

Lorsque la fonctionnalité calcul de la moyenne n'est pas active, l'empreinte est mise à jour à chaque balayage; certains RDT désignent cela comme des «essais libres». Le calcul de la moyenne est plus rapide lorsqu'on choisit la méthode A2P que lorsqu'on choisit la méthode AMC.

En cas de choix de l'AMC, une approximation des moindres carrés est faite sur le tracé avant que l'affaiblissement ne soit calculé. Lorsqu'on choisit une méthode A2P, l'affaiblissement est calculé à partir des valeurs absolues mesurées aux marqueurs.

Lorsqu'on mesure l'affaiblissement en utilisant une méthode A2P, le résultat peut varier en fonction de la position des marqueurs. Si ceux-ci sont placés sur un maximum «local» ou un minimum local, respectivement, le résultat peut être entaché d'erreur.

Pour les mesures d'affaiblissement on recommande l'AMC comme méthode d'approximation.

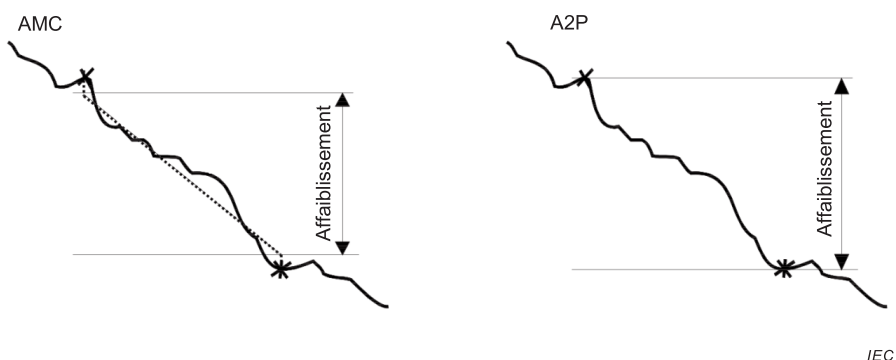


Figure C.3 – Méthodes d'approximation AMC et A2P

C.6 Mises à l'échelle verticale et horizontale (v-zoom, h-zoom)

Les mises à l'échelle (fonction zoom) sur les axes horizontal et vertical n'ont pas d'influence sur les résultats de mesure, mais améliorent les possibilités d'évaluation visuelle du tracé. Pour des mesures de longueur précises, les meilleurs résultats sont obtenus avec des mises à l'échelle optimale sur les axes horizontal et vertical. Dans la plupart des cas l'appareil fera un agrandissement autour du marqueur choisi.

L'axe vertical (axe des y) est en dB/div. L'axe horizontal (axe des x) est en km/div.

C.7 Décalages vertical et horizontal

Le décalage vertical (vertical offset) décale le tracé verticalement. Le décalage horizontal (horizontal offset) décale le tracé horizontalement.

C.8 Mise en service ou à l'arrêt du laser

Le laser est automatiquement arrêté après le calcul de la moyenne. Dans la plus part des cas il est impossible de mettre en service le laser si le connecteur à la fibre n'est pas branché correctement. Il peut ne pas être possible de changer de longueur d'onde si le laser est arrêté.

C.9 Initialisation de l'IDR et de l'indice de groupe

L'IDR (indice de groupe) détermine la valeur mesurée de la longueur. Il est initialisé lors de l'étalonnage de l'appareil avec une fibre de référence dont la longueur est connue, ou bien il est initialisé suivant les recommandations du fabricant de câble ou de fibre. Les valeurs initiales les plus récentes sont enregistrées et sauvegardées dans la mémoire interne de l'appareil. L'IDR est normalement différent suivant les longueurs d'onde. Ainsi l'indice de groupe pour une mesure de fibre est défini par la formule suivante:

$$n_g(\lambda) = n_g^{\text{typique}}(\lambda) + \alpha_1(\lambda) \quad (\text{C.1})$$

où $n_g^{\text{typique}}(\lambda)$ est l'indice de groupe classique pour une certaine longueur d'onde et pour un certain type de fibre, par exemple 1,467 et 1,468 pour 1 310 nm et 1 550 nm respectivement pour une fibre classique G652 (fibre à dispersion non nulle unimodale suivant la désignation de l'Union Internationale des Télécommunications); $\alpha_1(\lambda)$ est un paramètre dépendant de l'appareil qui est pris en compte lorsque l'étalonnage de la longueur est réalisé sur une fibre de référence.

C.10 Utilisation d'un affaiblisseur

Parfois le début du tracé associé à la fibre peut être saturé (plat). Dans ce cas un affaiblisseur est à utiliser pour empêcher le dépassement de capacité du détecteur. Cela peut être fait automatiquement ou manuellement. La figure montre un tracé sans affaiblisseur et avec un affaiblisseur de 5 dB, voir Figure C.4.

Le phénomène de saturation ne doit pas être confondu avec le décalage vertical du tracé qui peut ressembler à une saturation. Pour distinguer ces deux phénomènes il suffit de changer d'échelle verticale.

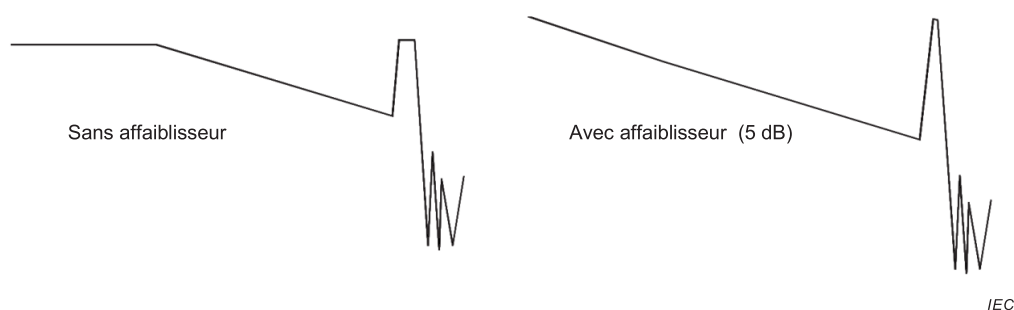


Figure C.4 – Tracés réalisés pour une fibre avec un affaiblisseur initialisé respectivement à 0 dB et à 5 dB

Bibliographie

IEC 60544-5, *Matériaux isolants électriques – Détermination des effets des rayonnements ionisants – Partie 5: procédures pour estimation du vieillissement en service*

IEC 60780, *Centrales nucléaires – Équipements électriques de sûreté – Qualification*

IEC 60793-1-40, *Fibres optiques – Partie 1-40: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Affaiblissement*

IEC 60793-1-46, *Fibres optiques – Partie 1-46: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Contrôle des variations du facteur de transmission optique*

IEC 60793-1-54, *Fibres optiques – Partie 1-54: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Irradiation gamma*

IEC 60793-2-10, *Fibres optiques – Partie 2-10: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de catégorie A1*

IEC 60793-2-50, *Fibres optiques – Partie 2-50: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres unimodales de classe B*

IEC 60880:2006, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Aspects logiciels des systèmes informatisés réalisant des fonctions de catégories A*

IEC 61280-4-1:2009, *Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques – Partie 4-1: Installations câblées – Mesure de l'affaiblissement en multimodal*

IEC 61280-4-2:2014, *Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques – Partie 4-2: Installations câblées – Mesure de l'affaiblissement de réflexion optique et de l'affaiblissement des fibres unimodales*

IEC 61508-1:2010, *Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité – Partie 1: Exigences générales*

IEC 61508-2:2010, *Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité – Partie 2: Exigences pour les systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité*

IEC 61508-3:2010, *Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité – Partie 3: Exigences concernant les logiciels*

IEC 61508-4:2010, *Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité – Partie 4: Définitions et abréviations*

IEC 61513:2011, *Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté – Exigences générales*

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

IEC TR 62033, *Uniformité de l'affaiblissement dans les fibres optiques*

IEC TR 62283, *Optical fibres – Guidance for nuclear radiation tests* (disponible en anglais seulement)

IEC TR 62316, *Guidance for the interpretation of OTDR backscattering traces* (disponible en anglais seulement)

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

ISO/IEC 14763-3, *Technologies de l'information – Implémentation et fonctionnement du câblage dans les réseaux d'utilisateurs – Partie 3: Contrôle du câblage de fibre optique*

IEEE Std 323™, *IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations* (disponible en anglais seulement)

IEEE Std 1682™, *IEEE Standard for Qualifying Fiber Optic Cables, Connections, and Optical Fiber Splices for Use in Safety Systems of Nuclear Power Generating Stations* (disponible en anglais seulement)

IAEA-TECDOC-1188:2000, *Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: In-containment instrumentation and control cables*, IAEA, Vienna (disponible en anglais seulement)

Kuhnhenh, J., Henschel, H., Höffgen, S.K., Weinand, U., *Optical fibres as radiation sensors at high energy accelerators. In: Lecture Proceedings, University of Bonn, 2008-12-11* (disponible en anglais seulement)

NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL -NUREG-52610), *Assessment of Environmental Qualification Practices and Condition Monitoring Techniques for Low-Voltage Electric Cables, Condition Monitoring Test Results* (disponible en anglais seulement)

NUREG/CR-7000, *Essential Elements of an Electric Cable Condition Monitoring Program* (disponible en anglais seulement)

JNES-SS-0903:2009, *The final report of the project assessment of cable ageing for nuclear power plant* (disponible en anglais seulement)

Normes de sûreté de l'AIEA GS-R-3, *Système de gestion des installations et des activités*

Normes de sûreté de l'AIEA SSR-2/1:2012, *Sûreté des centrales nucléaires: Conception*

Girard, S., Kuhnhenh, J., Gusarov, A., Brichard, B., Van Uffelen, M., Ouerdane, Y., Boukenter, A., Marcandella, C., *Radiation effects on silica-based optical fibers. Recent advances and future challenges. IEEE Transactions on nuclear science, vol. 60, No. 3, June 2013* (disponible en anglais seulement)

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch