

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Fibre optic sensors –
Part 2-2: Temperature measurement – Distributed sensing**

**Capteurs à fibres optiques –
Partie 2-2: Mesure de température – Détection répartie**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-2-2:2016



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Fibre optic sensors –
Part 2-2: Temperature measurement – Distributed sensing**

**Capteurs à fibres optiques –
Partie 2-2: Mesure de température – Détection répartie**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.180.99

ISBN 978-2-8322-8787-3

**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	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
4 General test setups for measurement of performance parameters	11
4.1 General and test setup requirements	11
4.2 General required information to be documented	13
5 Measurement procedures for performance parameters	14
5.1 Temperature measurement error	14
5.1.1 Test procedure and conditions	14
5.1.2 Parameter calculation	14
5.2 Spatial resolution	16
5.2.1 Test procedure and conditions	16
5.2.2 Parameter calculation	16
5.3 Temperature repeatability	17
5.3.1 Test procedure and conditions	17
5.3.2 Parameter calculation	17
5.3.3 Formulas	18
5.4 Spatial temperature uncertainty	19
5.4.1 Test procedure and conditions	19
5.4.2 Parameter calculation	19
5.5 Environmental temperature stability	20
5.5.1 Test procedure and conditions	20
5.5.2 Parameter calculation	21
5.6 Warm-up time	22
5.6.1 Test procedure and conditions	22
5.6.2 Parameter calculation	23
5.7 Attenuation range	24
5.7.1 Test procedure and conditions	24
5.7.2 Parameter calculation	25
Annex A (informative) Measurement parameter performance table	26
Annex B (informative) Point defect effects	28
B.1 General	28
B.2 Point defect	28
B.3 Test procedures and conditions	28
Bibliography	31
Figure 1 – Example of a temperature trace with temperature sample points	10
Figure 2 – General test setup: single-ended	12
Figure 3 – General test setup: loop configuration	12
Figure 4 – Temperature measurement error calculation: step 1	15
Figure 5 – Temperature measurement error calculation: steps 2 through 3	15
Figure 6 – Temperature measurement error calculation: steps 4 through 5	16

Figure 7 – Spatial resolution illustration	17
Figure 8 – Temperature repeatability calculated from Figure 4	18
Figure 9 – Spatial temperature uncertainty calculated from Figure 4	20
Figure 10 – Environmental temperature cycle (example for a DTS instrument with an operating temperature range of 0 °C to 40 °C)	21
Figure 11 – Environmental temperature stability parameter calculation method	22
Figure 12 – Example illustrating calculation of warm-up time	23
Figure B.1 – Point defect measurement (example)	29
Table A.1 – Blank measurement parameter performance table	26

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-2-2:2016

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIBRE OPTIC SENSORS –

Part 2-2: Temperature measurement – Distributed sensing

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61757-2-2 has been prepared by subcommittee SC 86C: Fibre optic systems and active devices of IEC technical committee 86: Fibre optics.

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

CDV	Report on voting
86C/1323/CDV	86C/1354/RVC

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 61757 series, published under the general title *Fibre optic sensors*, can be found on the IEC website.

This International Standard is to be used in conjunction with IEC 61757-1:2012.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-2-2:2016

INTRODUCTION

It has been decided to restructure the IEC 61757 series with the following logic. From now on, the sub-parts will be renumbered as IEC 61757-*M-T* where *M* denotes the measure and *T* the technology.

The existing part IEC 61757-1:2012 will be renumbered as IEC 61757 when it will be revised and will serve as an umbrella document over the entire series.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-2-2:2016

FIBRE OPTIC SENSORS –

Part 2-2: Temperature measurement – Distributed sensing

1 Scope

This part of IEC 61757 defines detail specifications for distributed temperature measurement by a fibre optic sensor, also known as fibre optic distributed temperature sensing (DTS). DTS includes the use of Raman scattering, Brillouin scattering and Rayleigh scattering effects. In addition, Raman scattering and Rayleigh scattering based measurements are performed with a single-ended fibre configuration only. Brillouin scattering based measurements are performed with a single-ended fibre or fibre loop configuration. The technique accessible from both sides at same time (e. g. Brillouin optical time domain analysis, BOTDA) is referred to here as a loop configuration. Generic specifications for fibre optic sensors are defined in IEC 61757-1:2012.

This part of IEC 61757 specifies the most important DTS performance parameters and defines the procedures for their determination. In addition to the group of performance parameters, a list of additional parameters has been defined to support the definition of the measurement specifications and their associated test procedures. The definitions of these additional parameters are provided for informational purposes and should be included with the sets of performance parameters.

A general test setup is defined in which all parameters can be gathered through a set of tests. The specific tests are described within the clause for each measurement parameter. This general test setup is depicted and described in Clause 4 along with a list of general information that should be documented based upon the specific DTS instrument and test setup used to measure these parameters as per IEC 61757-2-2.

Annex A provides a blank performance parameter table which should be used to record the performance parameter values for a given DTS instrument and chosen optical test setup configuration.

Annex B provides guidelines for optional determination of point defect effects.

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 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 61757-1:2012, *Fibre optic sensors – Part 1: Generic specification*

IEC TR 61931, *Fibre optic – Terminology*

ISO/IEC Guide 99, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the definitions given in IEC 61757-1:2012, IEC 60050, IEC TR 61931, ISO/IEC Guide 99 (VIM), as well as the following apply.

3.1

attenuation range

total cumulated optical loss (one way loss) tolerated by the DTS system without affecting the specified measurement performance more than a given factor at a given location, spatial resolution, and measurement time

Note 1 to entry: Part of the total cumulative loss can be the fibre attenuation, point defect losses introduced by components such as connectors, splices, kink in the fibre, attenuators.

Note 2 to entry: The attenuation range is expressed in decibels (dB).

3.2

distance measurement range

maximum distance from the DTS instrument output connector along the fibre optic sensor within which the instrument measures a temperature with specified measurement performance under defined conditions

Note 1 to entry: This supporting parameter is closely related to the attenuation range of the instrument. In test cases used to prove or verify the reported specifications, the total fibre length shall be equal to or greater than the specified distance measurement range.

Note 2 to entry: The distance measurement range is expressed in length units (m or km).

3.3

environmental temperature repeatability

difference of the measured constant fibre optic sensor temperature at a specified instrument temperature (e. g. nominal operating temperature) before and after temperature cycling of the instrument across the entire instrument operating temperature range

Note 1 to entry: This parameter is derived from environmental temperature stability.

3.4

environmental temperature stability

difference of the measured constant fibre optic sensor temperature before, during and after temperature cycling of the DTS instrument across the entire instrument operating temperature range

Note 1 to entry: Worst case environmental temperature effect, high/low environmental temperature effect, and environmental temperature repeatability are derived from this definition.

3.5

high/low environmental temperature effect

difference of the measured constant fibre optic sensor temperature at the high and low temperature limit of the instrument temperature operating range

Note 1 to entry: This parameter is derived from environmental temperature stability.

3.6

hot spot

length of fibre optic sensor (ΔL) which is exposed by a measurable temperature change (ΔT) which is significantly bigger than the instrument temperature repeatability and which is confirmed by reference temperature devices in the two thermal chambers.

Note 1 to entry: See Clause 4 and Figure 7.

3.7

L

location

optical distance (specified in length units) from the DTS instrument output connector to a desired temperature sample point along the fibre optic sensor

Note 1 to entry: The furthest location from DTS instrument output connector for the particular test is quantified as Z_m and is often chosen to be the same as the distance measurement range for purposes of comparing the measurement results with quoted specifications.

3.8

measurement time

time between independent temperature measurements when making successive measurements on a single fibre optic sensor

Note 1 to entry: This parameter includes acquisition time and processing time for measured data. This parameter is selectable by the user typically in some limited fashion. Multiple independent temperature measurements may be averaged together to provide an overall measurement time.

Note 2 to entry: Equivalently, it is the time interval between successive temperature trace timestamps under these conditions.

3.9

point defect

local deviation of a fibre optic sensor from its nominal optical and mechanical properties occurring at a single location, or over a length substantially less than the DTS spatial resolution

Note 1 to entry: The definition of a point defect encompasses a wide range of situations, which may produce similar effects on the temperature trace. Examples include

- a point loss, such as a bad fibre splice;
- a back reflection, such as may arise from a fibre connector;
- a localized region of high loss, such as a bend or kink in the fibre;
- a physical discontinuity in the fibre, such as a splice between two fibres of different core diameters.

3.10

point defect temperature offset

difference between the average values of the temperature sample points in two zones on the temperature trace, one each side of a point defect, where the actual fibre optic sensor temperatures are the same

Note 1 to entry: The point defect temperature offset may be positive, negative or zero.

3.11

sample spacing

distance between two consecutive temperature sample points in a single temperature trace

Note 1 to entry: See Figure 1.

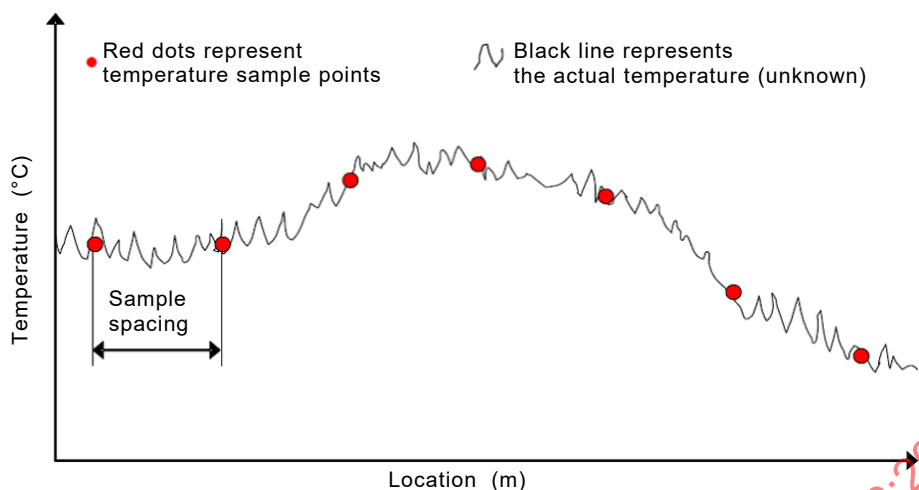


Figure 1 – Example of a temperature trace with temperature sample points

Note 2 to entry: Sample spacing may be a user-selectable instrument parameter.

Note 3 to entry: The distance measurement range is expressed in length units (in m).

Note 4 to entry: In case of very high spacing resolution, the distance measurement range can be expressed in cm or mm.

3.12 spatial resolution

smallest length of a temperature-affected fibre optic sensor for which a DTS system can measure the reference temperature of the hot spot fibre condition within the specified temperature measurement error of the DTS system

3.13 spatial temperature uncertainty

uncertainty of location of temperature data in a single temperature trace expressed by twice the standard deviation of a specified number of adjacent temperature sample points, with the fibre optic sensor held at constant temperature

3.14 temperature dead zone

limited zone of a temperature trace, where the temperature sample points deviate from the undisturbed parts of the trace by a specified limit due to a point defect

3.15 temperature measurement error

maximum difference between a centred and uniformly weighted moving average of the measured temperature and a reference temperature for all data points of the fibre optic sensor over the full operating temperature range and all acquisition times

Note 1 to entry: Single value (worst case) is specified in temperature units (e.g. $\pm 0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Note 2 to entry: The number of elements used for the moving average is defined in Clause 5. In practical applications, other methods of smoothing might be applicable.

3.16 temperature repeatability

precision of temperature data based on repeated temperature traces at a given location expressed by twice the standard deviation of corresponding temperature sample points in each temperature trace, with the fibre optic sensor held at constant temperature

3.17**temperature sample point**

measured temperature value associated with a single point at a known location along a fibre optic sensor

Note 1 to entry: Due to thermodynamic effects, the measured value represents the temperature along a very small section of the fibre optic sensor that includes the point.

3.18**temperature trace**

set of temperature sample points distributed along a fibre optic sensor and spaced by the sample spacing

Note 1 to entry: All the sample points are associated with a common time of measurement, often called the trace timestamp. The measured values represent the temperature during a period that includes the timestamp.

Note 2 to entry: All the sample points in a temperature trace are measured values produced by the DTS instrument, and not interpolated or smoothed values produced by subsequent processing outside the instrument.

3.19

Z

total fibre length

distance from the DTS output connector to the final end of the fibre optic sensor

Note 1 to entry: Final end of the fibre optic sensor can either be a purposefully cut or terminated end of the fibre physically far from the instrument (in a single-ended configuration), or the end of a loop consisting of a connector that is connected to the same instrument (in a loop configuration).

Note 2 to entry: This parameter is either equal to or greater than the distance measurement.

Note 3 to entry: The distance measurement range is expressed in length units (m or km).

3.20**warm-up time**

duration of time starting from the initiation of the first temperature measurement until the DTS instrument complies with specified measurement specifications

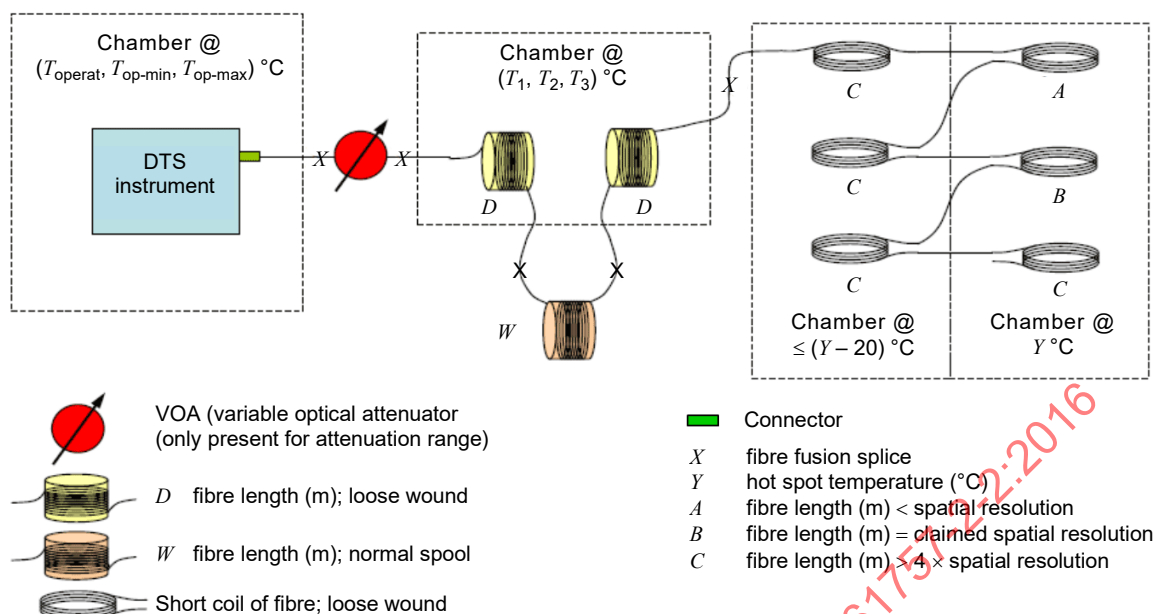
3.21**worst case environmental temperature effect**

maximum difference of the measured constant fibre optic sensor temperature at different locations along the sensor during a complete temperature cycling of the DTS instrument across the entire instrument operating temperature range

Note 1 to entry: This parameter is derived from environmental temperature stability.

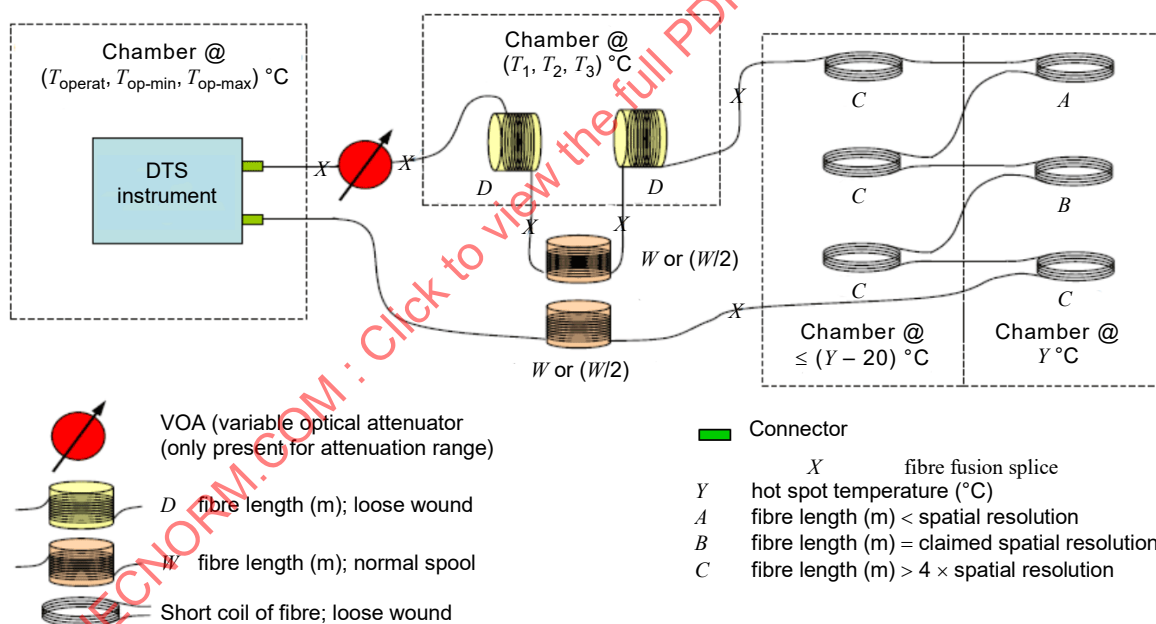
4 General test setups for measurement of performance parameters**4.1 General and test setup requirements**

General test setups for single and loop configurations are schematically shown in Figure 2 and Figure 3 respectively. Their aim is to provide a common base for determining the measurement specifications while at the same time minimizing complexity, cost, reconfiguration requirements, and test execution time.



IEC

Figure 2 – General test setup: single-ended



IEC

Figure 3 – General test setup: loop configuration

Individual evaluation procedures may be performed with a modified type of setup providing the required measurement conditions. In this case, a detailed setup description and documentation is required.

The fibre lengths A , B , C of the fibre coils in the thermal chambers at the end of the setup shall be selected based upon the expected spatial resolution of the DTS system. The fibre lengths D and W within and outside the centre chamber shall be chosen to make the total fibre length Z match the distance measurement range of the particular DTS model being tested. The use of fibre length D , located before and after a long length W of fibre (which makes up the total fibre length Z), provides a test setup capable of accommodating various instruments with different distance measurement ranges. Fibre length D shall be equal to 10 % of the total fibre length Z .

However, the use of a length of fibre outside the central chamber is optional – all fibre may be contained within the chamber, if desired, as single or multiple coils. The total fibre length Z is equal to the total length of fibre from the instrument connector up to the end of the spatial resolution fibre section represented by fibre lengths A , B , C .

A symmetric test setup represents the normal field operation setup. This is reflected by the test setup described in Figure 3. Fibre length W makes up the total fibre length Z . In case of a system comparison with a single-ended test setup, the length of the normal spools shall be $(2 \times W/2)$. This guarantees the same overall attenuation. In all other cases the length of the normal spools shall be $(2 \times W)$.

Fusion splices should be used for fibre connection to minimize additional optical losses and unwanted back-reflections. Low insertion loss and back-reflections shall be accomplished when connecting the fibres by connectors.

The fibres in the chambers shall be coiled in such a way (loose wound) that the fibre is completely exposed by the surrounding temperature, and that there is no fibre strain. Normal spool in this case means a fibre spool as delivered from the fibre supplier.

It shall be noted that the general test setup provides a schematic diagram only. The real implementation may differ in certain respects, such as replacing any of the fibre containing chambers with liquid filled calibration baths or replacing the double chamber with an alternative implementation that provides a large and sharp enough temperature difference between the coils (at least 20 °C occurring over no longer than 50 % of the rated spatial resolution).

It is required that the uncertainty of the reference temperature measurement is at least a factor of 5 smaller than the temperature measurement error that is being assessed. Such reference temperature sensors are not shown in the setup diagrams but are required to be present and properly calibrated within each temperature chamber and/or bath.

Setting requirements on the homogeneity or stability of the chambers or the sharpness of the realized temperature step is not necessary. Failure to realize these test setup qualities at a sufficient level will only produce measurement data that is more conservative (worse performance).

The DTS instrument-under-test shall be calibrated according to manufacturer's recommendations before performing any measurements.

4.2 General required information to be documented

The general required information to be documented is as follows:

- completion date of all testing;
- name of the organization executing the testing;
- test setup configuration;
- operating mode of the DTS instrument (single-ended or loop configuration as shown in Figures 2 and 3, or channel(s) tested in case of a multi-channel system using the same hardware);
- wavelength(s) of the launched signals (operating wavelength(s));
- manufacturer, model, and serial number of the DTS instrument;
- manufacturer, model, and length of the fibre optic sensor in the test setup (inside the temperature chamber(s));
- optical loss (one-way in dB) of the optical setup to the end of the sensor (Z m);
- wavelength used to measure the loss to end of the sensor (Z m);
- distance measurement range of the DTS instrument;

- sample spacing used for all measurements;
- spatial resolution setting used for all measurements;
- measurement time used during DTS instrument calibration;
- lengths of fibre coils *A*, *B*, *C* and *D* and spool(s) *W*;
- nominal temperatures of both parts of the double-chambers in °C;
- maximum (hot) and minimum (cold) operating temperature limits (°C) of the DTS instrument.

The general required information for the tested DTS instrument and the associated test setup shall be recorded along with the calculated measurement specifications.

5 Measurement procedures for performance parameters

5.1 Temperature measurement error

5.1.1 Test procedure and conditions

The following steps shall be performed:

- 1) Use a general test setup as shown in Clause 4.
- 2) Make the total fibre length *Z* equal to or greater than the distance measurement range quoted for the specific DTS instrument to be tested.
- 3) Place the DTS instrument in a thermal chamber and stabilize it at operating temperature (e.g. $20\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$). Give the instrument sufficient time before performing the following steps to reach thermal equilibrium with the environment in accordance with the manufacturer's recommendations (start-up time). The operating temperature shall be defined by the manufacturer of the DTS instrument.
- 4) Calibrate the DTS instrument according to manufacturer's recommendations over a defined fibre temperature range that corresponds to the application. The fibre temperature range shall be agreed by the manufacturer and the customer.
- 5) Stabilize the temperature within $\pm 0,5\text{ °C}$ of controlled fibre length(s) *D* at three representative temperatures T_1 , T_2 , T_3 within the specified temperature range. The three representative temperatures shall be agreed by the manufacturer and the customer.
- 6) Collect 20 temperature traces at each of the three required measurement times (shortest time provided by the DTS instrument, recommended time, and longest possible provided by the DTS instrument) for each fibre temperature.

NOTE The same data sets can be used for the performance evaluation of spatial resolution, spatial temperature uncertainty, and temperature repeatability.

5.1.2 Parameter calculation

For calculation of the temperature measurement error, the following steps shall be performed (see Figures 4 through 5):

- 1) Compute the average of all 20 temperature traces for each temperature sample point over the entire location.
- 2) Calculate the smoothed average by computing a centred and uniformly weighted moving average over 51 of the averaged temperature data (DTS readings).
- 3) Compute the average error for each sample point by subtracting the smoothed average from the actual fibre temperature (as measured by an independent calibrated reference sensor) over the entire location. See Figure 5.
- 4) Calculate the absolute average error by taking the absolute value of each average error for each temperature sample point.
- 5) The temperature measurement error for that set of test conditions is the maximum value of all absolute average error values that correspond to measurements collected from the fibre

length that was clearly inside the stabilized thermal chamber. Temperature data of fibre lengths outside the stabilized thermal chamber (e. g. end or lead in fibre lengths, W length of fibre) shall not be used for computation of the temperature measurement error. See Figure 6.

- 6) Repeat calculation steps 1 through 5 for all other sets of test conditions (a total of 3 conditions exist for each measurement time).
- 7) Record the test parameters and all 9 measured values for the temperature measurement error.

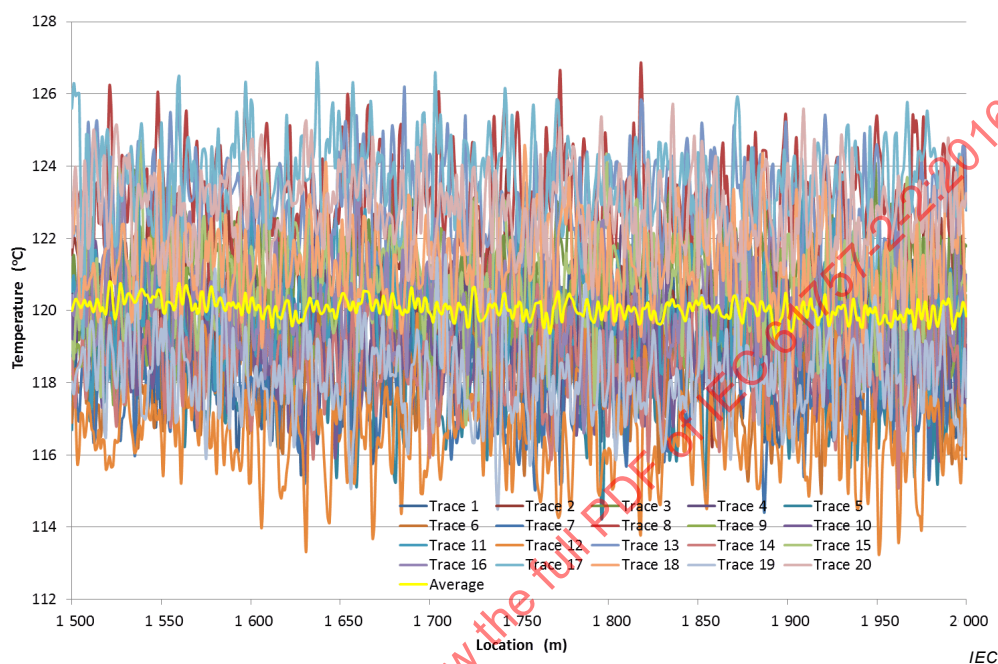


Figure 4 – Temperature measurement error calculation: step 1

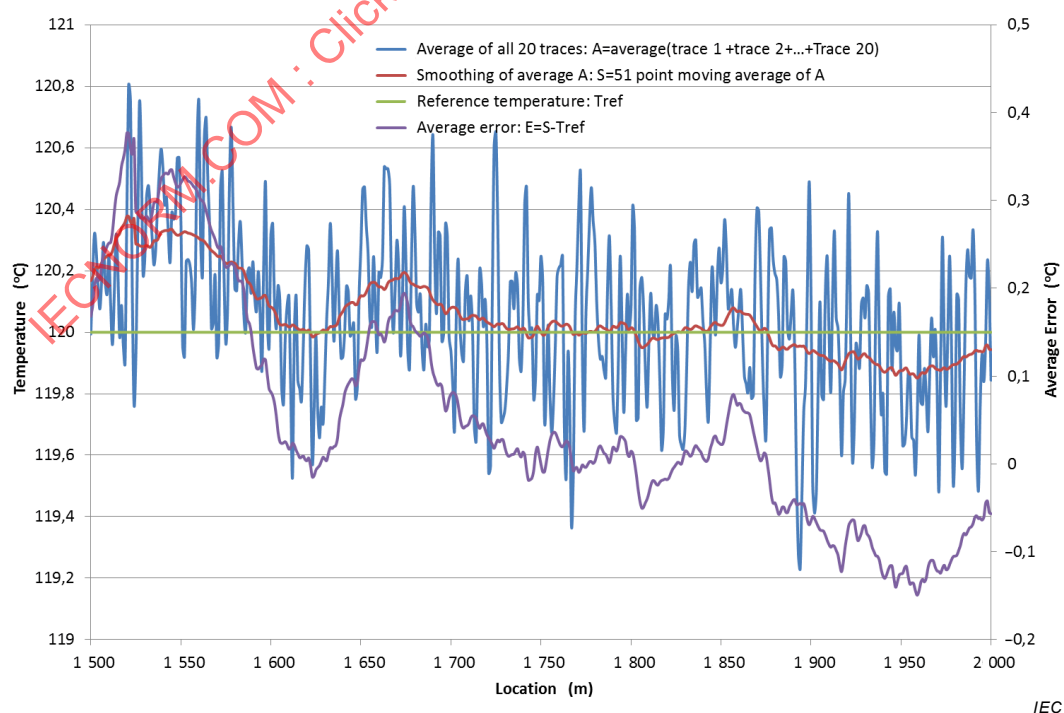


Figure 5 – Temperature measurement error calculation: steps 2 through 3

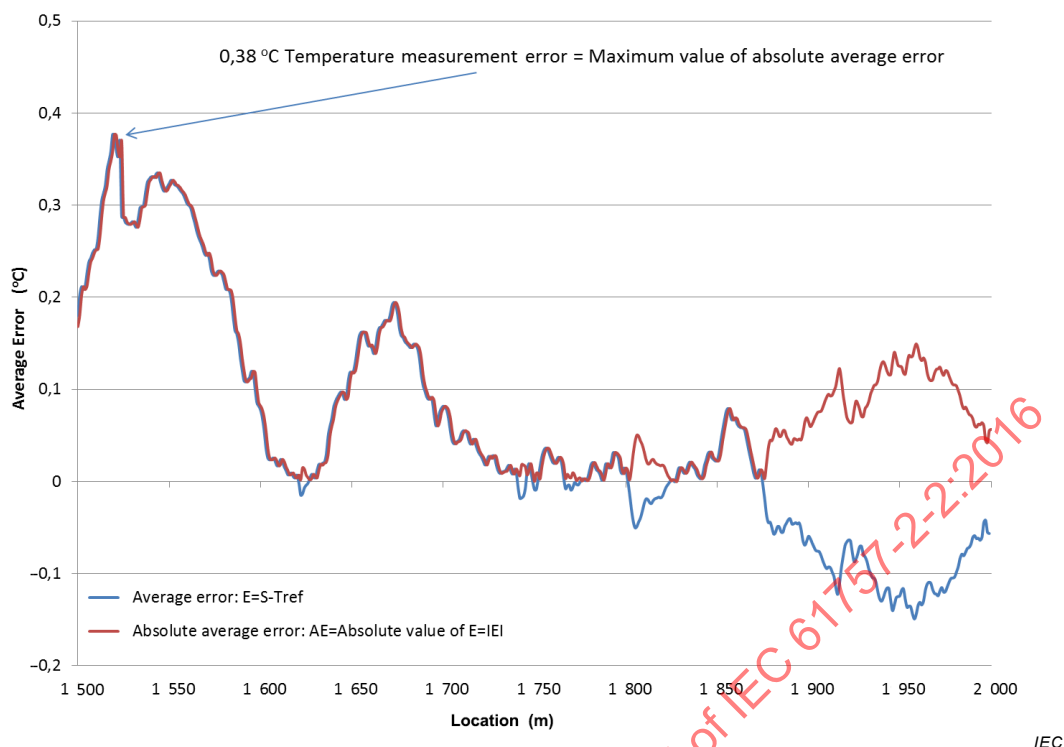


Figure 6 – Temperature measurement error calculation: steps 4 through 5

5.2 Spatial resolution

5.2.1 Test procedure and conditions

The following steps shall be performed:

- 1) Give equipment sufficient time before the test to reach thermal equilibrium with the environment in accordance with the manufacturer's recommendations.
- 2) Use a general test setup as shown in Clause 4.
- 3) The hot spot fibre segment lengths shall be equal to the following:
 - a) The *A* length shall be less than the claimed DTS instrument spatial resolution, such that no single temperature point will show the hot spot reference temperature.
 - b) The *B* length shall be equal to the claimed spatial resolution for the DTS instrument being tested, such that one data point shows a temperature value increase > 90 % of the segment reference temperature.
 - c) The *C* length shall be greater than 4 times the claimed spatial resolution for the DTS instrument being tested.
- 4) The sample spacing shall be less than or equal to one-half the claimed spatial resolution.
- 5) Hot spots shall be generated according to 3.6.
- 6) Collect performance data set as specified in 5.1 using a measuring time which corresponds to the needs of the application (e. g. 10 min).

5.2.2 Parameter calculation

For calculation of the spatial resolution (Figure 7) the following steps shall be performed:

- 1) Spatial resolution is equal to the *B* fibre segment length, and is validated with this test by at least one data point in the *B* segment fibre calculating a temperature > 90 % of the hot spot reference temperature increase above the surrounding fibre temperature.

- 2) The *A* fibre segment shall validate that no data points show the hot spot reference temperature.
- 3) Afterwards, the spatial resolution length, the *C* fibre hot spot segment, shall show all data points equal to the hot spot reference temperature within the expected spatial temperature uncertainty.
- 4) Record the *B* fibre segment length as spatial resolution.

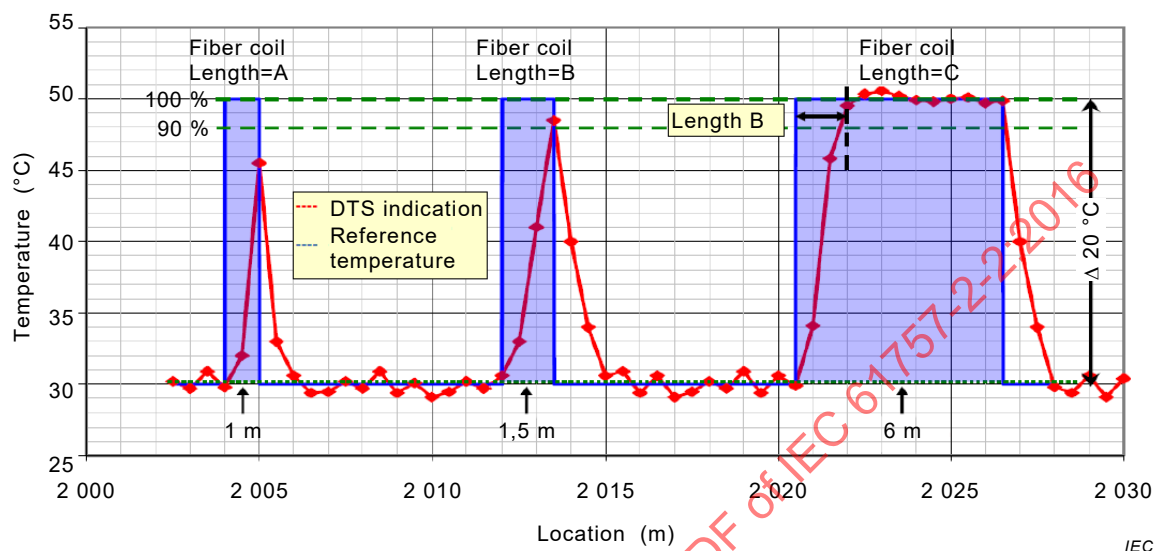


Figure 7 – Spatial resolution illustration

5.3 Temperature repeatability

5.3.1 Test procedure and conditions

The following steps shall be performed:

- 1) Give equipment sufficient time before the test to reach thermal equilibrium with the environment in accordance with the manufacturer's recommendations.
- 2) Use a general test setup as shown in Clause 4.
- 3) Collect performance data set as specified in 5.1.
- 4) Collect 20 consecutive traces with a quoted spatial resolution over the total fibre length *Z* after the fibre temperature is stabilized:
 - a) for each measurement time (shortest time provided by the DTS instrument, recommended time, and longest possible provided by the DTS instrument); and
 - b) for three representative fibre temperatures (T_1 , T_2 , T_3) according to the desired application.
- 5) The performance data set comprises 9 data subsets for above specified pairs of measurement time and fibre temperature.
- 6) Each subset is used to evaluate the values of temperature repeatability over length.

5.3.2 Parameter calculation

For calculation of the temperature repeatability (Figure 8) the following steps shall be performed:

- 1) Collect 20 consecutive traces for each data subset (e. g. traces for 10 min measurement time at one representative fibre temperature (T_1 , T_2 , T_3) as shown in Figure 4).
- 2) Calculate twice the standard deviation of temperature for each sample point over time (20 consecutive traces). Plot above calculated values versus distance.

- 3) Create a 51-point centred and uniformly weighted moving average curve S_i to use to select the reported distance based temperature repeatability values for each measurement time at each fibre temperature.
- 4) Report the maximum temperature repeatability value of the data set created in step 3.

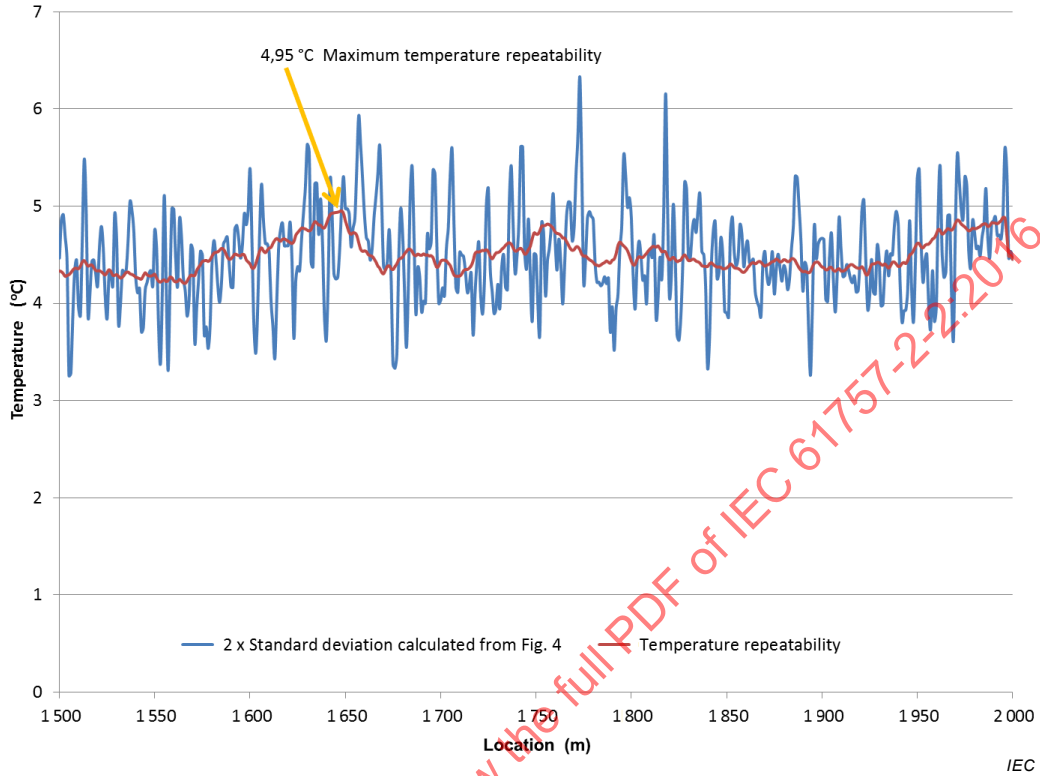


Figure 8 – Temperature repeatability calculated from Figure 4

- 5) Repeat this procedure at each measurement time for the remaining two representative fibre temperatures (T_1 , T_2 , T_3).

5.3.3 Formulas

Standard deviation in 5.3.2, step 2 is calculated by:

$$S_x(i) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N \left(T_j(i) - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N T_j(i) \right)^2} \quad (1)$$

where

$T_j(i)$ is the collected temperature data at i^{th} location of j^{th} trace;

$S_x(i)$ is the standard deviation for each data point (i^{th} location within a trace) over time (N consecutive traces);

N is the number of traces ($N = 20$).

The temperature repeatability S using the moving average applied on twice the standard deviation is calculated by:

$$S(i) = \frac{1}{51} \sum_{k=(i-25)}^{i+25} 2 \cdot S_x(k) \quad (2)$$

where

$S(i)$ is the temperature repeatability at i^{th} location.

5.4 Spatial temperature uncertainty

5.4.1 Test procedure and conditions

The following steps shall be performed:

- 1) Give equipment sufficient time before the test to reach thermal equilibrium with the environment in accordance with the manufacturer's recommendations.
- 2) Use a general test setup shown in Clause 4.
- 3) Collect 20 consecutive traces of temperature data over total fibre length Z set as specified in 5.1 after the fibre temperature has stabilized:
 - a) for each measurement time (shortest time provided by the DTS instrument, recommended time, and longest possible provided by the DTS instrument);
 - b) for three representative fibre temperatures (T_1 , T_2 , T_3) according to the desired application.

5.4.2 Parameter calculation

For calculation of the spatial temperature uncertainty (Figure 9) the following steps shall be performed:

- 1) Calculate twice the standard deviation over 51 points (centred and uniformly weighted) of collected temperature $T_j(i)$ for each data point of a single temperature trace.

$$S_j(i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{l=(i-25)}^{(i+25)} \left(T_j(l) - \frac{1}{n} \sum_{k=(i-25)}^{(i+25)} T_j(k) \right)^2} \quad (3)$$

where

$T_j(i)$ is the collected temperature data at i^{th} location of j^{th} trace;

$S_j(i)$ is the standard deviation over 51 points at i^{th} location of j^{th} trace;

n is the number of data points for calculation ($n = 51$).

- 2) Calculate the spatial temperature uncertainty $A(i)$ by averaging $2 \times S_j(i)$ for $N = 20$ traces collected over time at i^{th} location.

$$A(i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N 2 \cdot S_j(i) \quad (4)$$

where

$A(i)$ is the spatial temperature uncertainty;

$S_j(i)$ is the standard deviation over 51 points at i^{th} location of j^{th} trace;

N is the number of traces ($N = 20$).

- 3) Report the maximum spatial temperature uncertainty value $A(i)$ for the data set created in step 2).

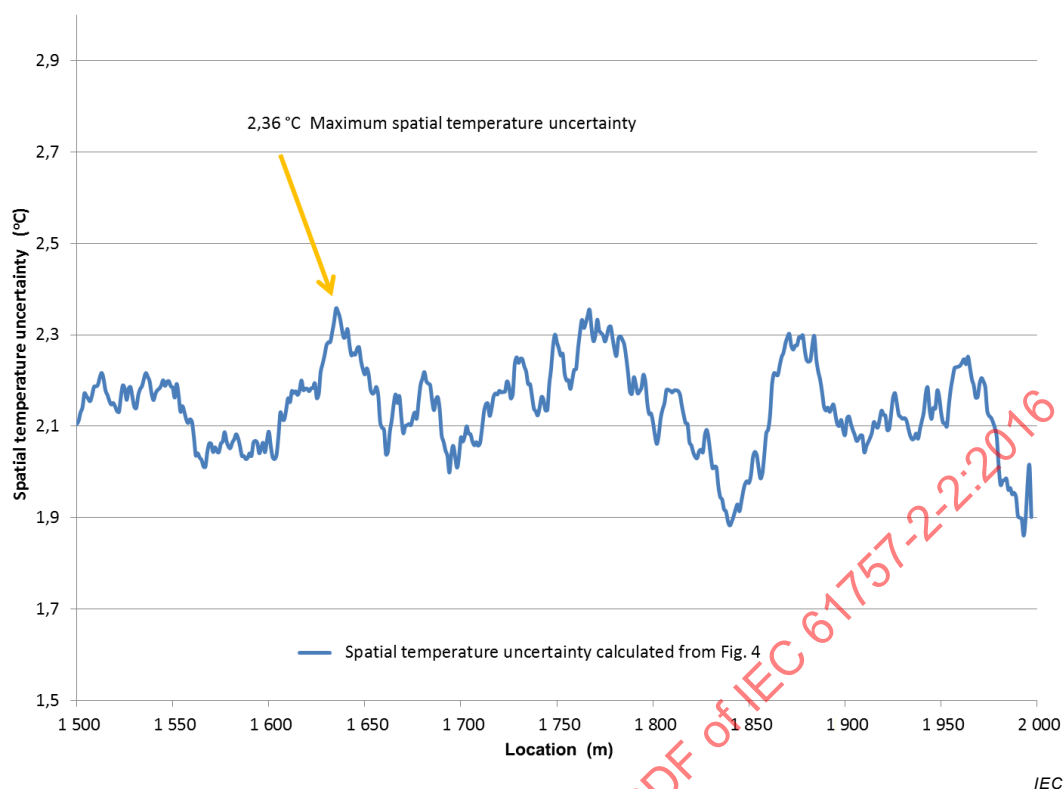


Figure 9 – Spatial temperature uncertainty calculated from Figure 4

5.5 Environmental temperature stability

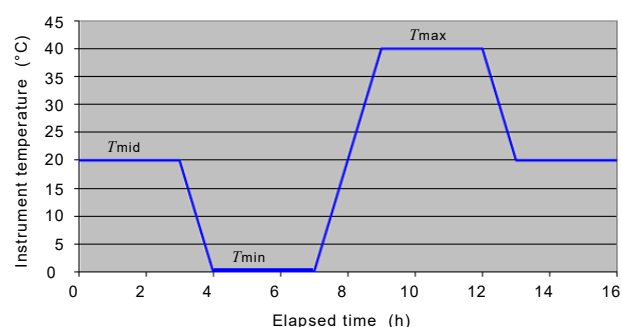
5.5.1 Test procedure and conditions

The following steps shall be performed:

- 1) Give equipment sufficient time before the test to reach thermal equilibrium with the environment in accordance with the manufacturer's recommendations.
- 2) Use a general test setup shown in Clause 4.
- 3) The fibre is to be held at a constant temperature ($T_{\text{const}} \pm 0,5 \text{ °C}$) for the entire environmental test. T_{const} shall be agreed between manufacturer and user.
- 4) Place DTS instrument in a thermal chamber and change the temperature according to the environmental temperature cycle described in Figure 10. T_{min} , T_{mid} and T_{max} shall be agreed between manufacturer and user. Each temperature level shall be held for 3 h. Temperature changes shall be performed with a rate of 20 °C/h.

Step time (h)	Total time (h)	Temperature (°C)
	0	20
3	3	20
1	4	0
3	7	0
2	9	40
3	12	40
1	13	20
3	16	20

IEC



IEC

a) Temperature profile table

b) Temperature profile graph

Figure 10 – Environmental temperature cycle (example for a DTS instrument with an operating temperature range of 0 °C to 40 °C)

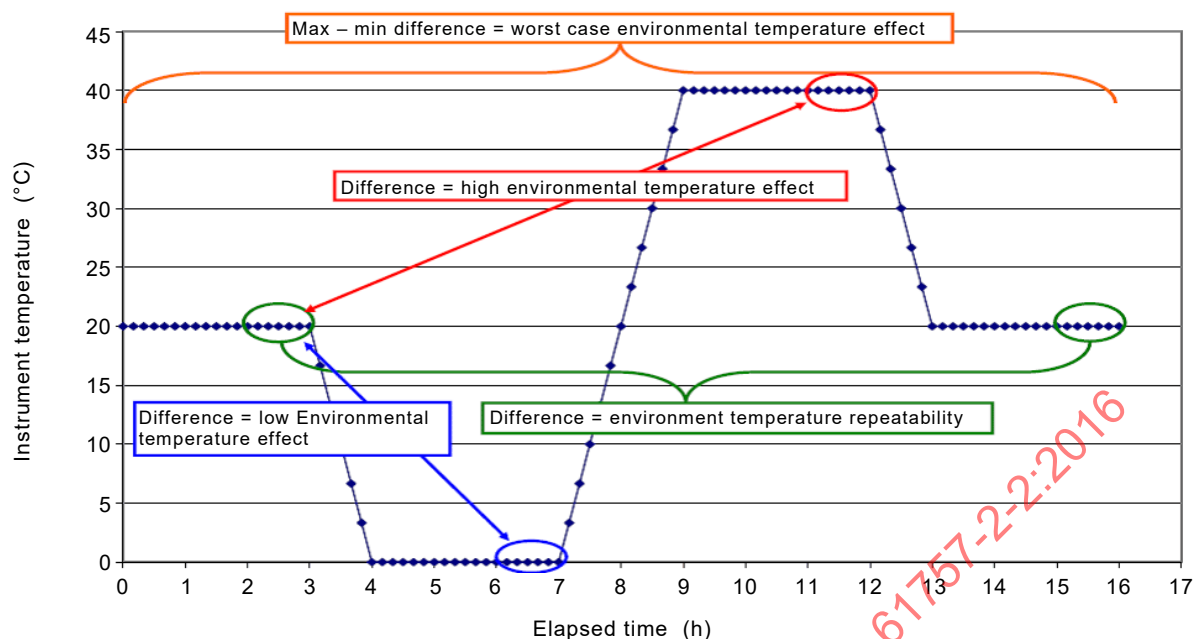
- 5) Collect temperature traces throughout the environmental cycle using a measurement time of 10 min.

5.5.2 Parameter calculation

For calculation of the environmental temperature stability, the following steps shall be performed:

- 1) Calculate a 101 point moving average (centred and uniformly weighted) of the temperature sample points from every collected temperature trace. Front and rear end in fibre length (101 points) shall not be used for computation below.
- 2) Determine the peak-to-peak variation in moving average temperatures at each distance point of the temperature stabilized fibre across all temperature traces taken during the environmental temperature cycle.
- 3) The worst case environmental temperature effect shall be quoted and reported as the worst case peak-to-peak (maximum – minimum) value calculated in the previous step.
- 4) Average the 101 point moving average temperatures for each temperature sample point calculated above (step 1) for the last 6 temperature traces taken during each hold period, i.e. average the last hour of measurements taken at the hold temperatures of middle, minimum, maximum, and middle again of the instrument operating range.
- 5) Calculate and report the difference between these values, collected at the maximum operating temperature and the initial middle operating temperature, and take the maximum difference for any temperature sample point as the high environmental temperature effect.
- 6) Calculate and report the difference between the values in step 4, collected at the minimum operating temperature and the initial middle operating temperature, and take the maximum difference for any temperature sample point as the low environmental temperature effect.
- 7) Calculate and report the difference between the values in step 4, collected at the initial middle operating temperature and the final middle operating temperature, and take the maximum difference for any temperature sample point as the environmental temperature repeatability.

Figure 11 gives a better understanding of the calculations required.



IEC

Figure 11 – Environmental temperature stability parameter calculation method

5.6 Warm-up time

5.6.1 Test procedure and conditions

The following steps shall be performed:

- 1) Use a general test setup shown in Clause 4. All main measurement parameters shall have been previously determined.
- 2) The fibre is to be held at a constant temperature ($T_{\text{const}} \pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) for the entire environmental test. The instrument is to be contained within a chamber set to the nominal operating temperature ($T_{\text{operat}} \pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$). The instrument shall be powered off completely, and shall be allowed to stabilize within the chamber for at least 3 h.
- 3) After the 3 h soak, power on the instrument normally, but do not initiate a temperature measurement.
- 4) Allow the instrument to wait the start-up time specified by the manufacturer for the corresponding operating temperatures, then begin the first temperature measurement with the measurement time set to 30 s, and start a timer. If a warm-up time of less than 10 min is possible and desired, then a shorter measurement time than 30 s may be used. In this case, the main measurement specifications used as thresholds in this standard shall also be generated and reported in the same way with the same shorter measurement time.
- 5) Continue collecting temperature traces at the 30 s measurement time.
- 6) Calculate the temperature measurement error, the spatial temperature uncertainty, and the temperature repeatability using the same methods as described in this standard with the following exceptions:
 - a) For all three of these measurement parameters, the location at which they shall be measured and recorded is at 90 % of the total fibre length Z only.
 - b) For temperature measurement error, no averaging over time shall be performed – the value is calculated from each individual trace.
 - c) For spatial temperature uncertainty, a moving average of the last 20 temperature traces collected over time shall be used.
 - d) For temperature repeatability, a moving standard deviation of the last 20 temperature traces collected over time shall be used.

- 7) Once the measured values of all three main instrument parameters meet or exceed the claimed values for those parameters at a 30 s measurement time, then the timer is stopped and the time duration is recorded.
- 8) Record the time duration as the warm-up time for the nominal operating temperature.
- 9) Repeat steps 2 through 7, except set the initial temperature of the chamber that contains the instrument to the minimum operating temperature T_{op_min} . Do not allow the instrument to cool down at a rate greater than 20 °C/h. Record the time duration as the warm-up time for the minimum instrument operating temperature.
- 10) Repeat steps 2 through 7, except set the initial temperature of the chamber that contains the instrument to the maximum operating temperature T_{op_max} . Do not allow the instrument to warm-up at a rate greater than 20 °C/h. Record the time duration as the warm-up time for the maximum instrument operating temperature.

5.6.2 Parameter calculation

For calculation of the warm-up time the following step shall be performed:

- Use the calculation methods described for the three main measurement parameters with the exceptions described in step 6 of 5.6.1.

Figure 12 demonstrates the parameter calculation by means of hypothetical results from tests where the DTS instrument started at the nominal operating temperature. The reported value is determined as the longest time for any of the three main specification parameters to reach its specified value.

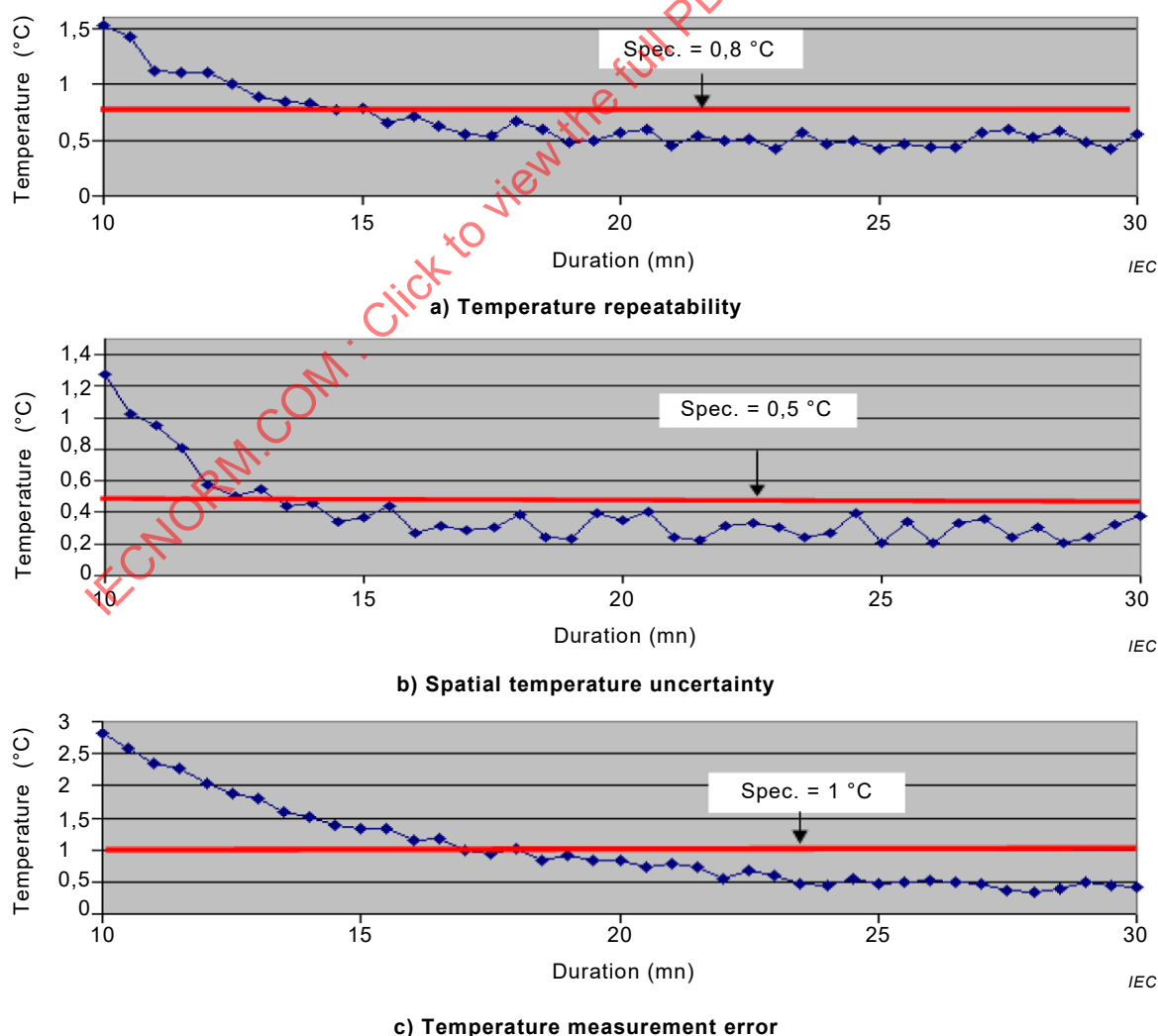


Figure 12 – Example illustrating calculation of warm-up time

Each point in the graphs represents a 10 min (20 points over time) moving average or $2 \times$ moving standard deviation, depending on the measurement specification. The X-axis begins at 10 min, as this is the minimum time required to gather 20 temperature traces at a 30 s measurement time.

The temperature repeatability (see Figure 12a)) meets the specification at 15,0 min (all points starting at 15,0 min are below the specification value of $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$). The spatial temperature uncertainty (see Figure 12b)) meets the specification at 13,0 min (all points starting at 13,0 min are below the specification value of $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). The temperature measurement error (see Figure 12c)) meets the specification at 18,0 min (all points starting at 18,0 min are below the specification value of $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Since the longest time to meet all three measurement specifications is 18,0 min, this is the reported value for the warm-up time for the nominal operating temperature.

5.7 Attenuation range

5.7.1 Test procedure and conditions

The attenuation range for a given wavelength, spatial resolution and measurement time is measured by evaluating the effect of additional loss introduced in the optical system on the temperature repeatability and/or spatial temperature uncertainty. The additional loss (typically created by a variable optical attenuator) is then added to the total cumulative loss measured at the same location at 90 % of total fibre length Z to compute the attenuation range.

In the following test procedure, the attenuation range is evaluated with respect to the temperature repeatability performance, as an example. The same procedure shall be used to evaluate the attenuation range for spatial temperature uncertainty.

The temperature repeatability is measured using the general test setups in Figure 2 (single-ended) or Figure 3 (loop configuration) while the additional loss is introduced by means of a variable optical attenuator (VOA). The VOA is placed outside the two thermal chambers where the DTS instrument and spools of fibre length D are placed. It is connected to the DTS output fibre and to the first fibre spool of length D . The spatial resolution test section is optional for this test.

The fibre spools of length D are maintained at a constant temperature (e. g. $75\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). The additional attenuation is gradually increased, and both the temperature repeatability and spatial temperature uncertainty are measured until the maximum acceptable temperature repeatability is exceeded at a location at 90 % of total fibre length Z .

The attenuation range reported value shall correspond to the VOA attenuation plus the cumulated fibre and point defect losses over the distance of 90 % of total fibre length Z (measured at the system operating wavelength). The attenuation range shall be evaluated for a given spatial resolution and for a 10 min acquisition time.

The detailed procedure is as follows:

- 1) Use a general test setup shown in Clause 4, but with the modifications as shown in Figure 2. Preferably by fusion splicing, insert a VOA into the fibre path between the chamber containing the instrument and the chamber containing the long length of fibre. All main measurement specifications shall have been previously determined per the procedures described in this document.
- 2) Insure that the variable optical attenuator is set to its minimum value; this should ideally result in an insertion loss of less than $1,0\text{ dB}$ at the operating wavelengths of the instrument.
- 3) The fibre optic sensor is to be held at a constant temperature (e. g. $75\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) for the entire test. The instrument is to be contained within a chamber set to the nominal operating temperature ($20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Allow sufficient time for the instrument to stabilize within the chamber (normally 3 h).
- 4) Collect 20 temperature traces at a 10 min measurement time.

- 5) Calculate the temperature repeatability and spatial temperature uncertainty using the same methods as described in 5.3 and 5.4 for both measurements.
- 6) Compare the obtained temperature repeatability with the maximum acceptable temperature repeatability.
- 7) Change the VOA setting in order to increase the attenuation by steps of about 0,5 dB.
- 8) Repeat steps 4 through 7 until the calculated temperature repeatability is larger than the maximum acceptable temperature repeatability at a location at 90 % of total fibre length Z .
- 9) Disconnect the test fibre and measure the VOA attenuation preferably using a cut-back method.

5.7.2 Parameter calculation

For calculation and evaluation use the calculation instructions described in steps 1 to 9 of 5.7.1.

Report the attenuation range values as the sum of the VOA attenuation, all point defect/connector losses (excluding that at the instrument) plus the fibre loss over the distance of 90 % of total fibre length Z (measured at the system operating wavelength). Also report the considered maximum acceptable temperature repeatability.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-2-2:2016

Annex A (informative)

Measurement parameter performance table

For better comparability, Table A.1 should be used to record the measured parameter values. A similar table may be used to provide a set of quoted specifications for the same measurement parameters.

Table A.1 – Blank measurement parameter performance table

Parameter:	DTS instrument:									
Measurement time	Unit	Shortest time provided by the DTS instrument			Recommended time			Longest time possible provided by the DTS instrument		
Fibre temperature	°C	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Temperature measurement error	°C									
Temperature repeatability	°C									
Spatial temperature uncertainty	°C									
Spatial resolution	m									
Worst case environmental temperature effect	°C									
Low environment temperature effect	°C									
High environment temperature effect	°C									
Environmental temperature repeatability	°C									
Attenuation range	dB									

Warm-up time – nominal	sec	at a constant fibre temperature ($T_{\text{const}} \pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) of: °C
Warm-up time – minimum	sec	
Warm-up time – maximum	sec	

			Measurement time used for calibration (min):
Test setup	Single-ended:	Loop configuration:	Wavelength(s) of launched signal(s) (nm):
DTS manufacturer:		DTS model/serial number:	<i>A</i> coil length (m):
Fibre manufacturer:		Fibre model:	<i>B</i> coil length (m):
Distance measurement range (m):		Sample spacing (m):	<i>C</i> coil length (m):
Total fibre length Z (m):		Optical loss at Z (dB):	<i>D</i> coil length (m):
			<i>W</i> spool length (m):
Spatial resolution setting (m):		Wavelength of loss measurement (nm):	Nominal temperatures of both parts of the double-chamber (°C):
Maximum instrument operating temperature (°C):		Minimum instrument operating temperature (°C):	Warm-up time (min):
Considered test parameters for			
Warm-up time:		Attenuation range:	
Temperature repeatability (°C):		Maximum acceptable temperature repeatability (°C):	
Spatial temperature uncertainty (°C):		Maximum acceptable spatial temperature uncertainty (°C):	
Temperature measurement error (°C):			

All different fibre manufactures and types used in any of the coils within the configurations should be individually identified. If a shorter measurement time has been used to specify the warm-up time, then the temperature measurement error, spatial temperature uncertainty, and temperature repeatability shall also be reported on a separate table.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-2-2:2016

Annex B (informative)

Point defect effects

B.1 General

This procedure allows the effect of a specific point defect on the measurement performance of a DTS (and associated fibre) to be measured in a controlled way. For example, the point defect might be a wet-mate connector with its own particular levels of loss, back reflection, and other properties. Because of the difficulty of creating a test point defect which is both representative of real world defects, and reproducible between test setups, it is recommended that the parameters measured by the following procedure be used only to compare the effects of the same point defect on different instruments.

For these reasons, the response to a point defect is not a recommended DTS specification item.

This test does not make use of the general test setup described in Clause 4.

B.2 Point defect

The effect of a point defect on the measurement performance of a DTS is characterized by the following parameters:

- The temperature dead zone caused by the point defect. The zone of temperature disturbance is defined as that length of the temperature trace where the error on the indicated temperature is outside the expected bounds for the performance of the DTS under test on undisturbed fibre.
- The temperature offset caused by the point defect. The offset is the difference between the average indicated temperatures along two lengths of the temperature trace immediately on each side of the zone of temperature disturbance.
- The temperature measurement error decrease caused by the point defect. The point defect may cause a decrease in temperature measurement error, measured over a specified fibre length each side of, but excluding the zone of temperature disturbance.

This procedure applies to any type of point defect.

B.3 Test procedures and conditions

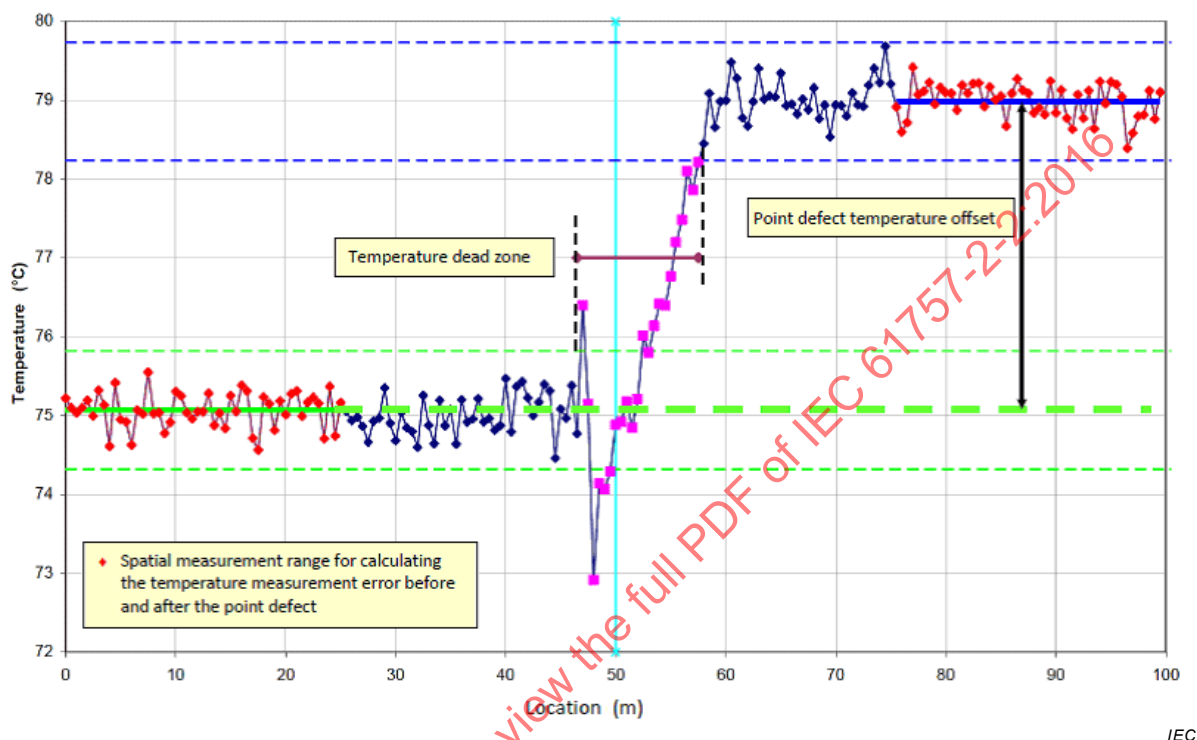
The following steps shall be performed:

- 1) The point defect to be tested shall be fusion-spliced between two equal lengths of fibre, each of which shall be a minimum of 1 km long. The two fibres shall be loose wound or wrapped on collapsible spools, and the point defect and both fibre lengths shall be placed in a temperature-controlled chamber. The fibre type and length, a description of the point defect, and any available measurements such as its forward and return losses, shall be recorded.

For a DTS operating in a loop configuration mode, both fibre ends are connected to the DTS, so the point defect is at the centre of the loop.

- 2) Configure the DTS as for normal operation with an undisturbed fibre, including calibration of the fibre, if this is standard for normal operation. The DTS shall be configured to provide a full temperature measurement for all temperature sample points including those at the location of the point defect. The spatial resolution used shall be stated.
- 3) Stabilize the test fibre, including the point defect, at a constant temperature (e.g. $75\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$).

- 4) Collect 20 consecutive temperature traces at measurement times of the shortest time provided by the DTS instrument and of 10 min. The following steps (5 through 10) shall be repeated for each measurement time.
- 5) Calculate the average temperature along a 51 point section of each averaged trace, 25 m each side of the (nominal) location of the point defect (these are the points highlighted in red in Figure B.1): the nominal location of the point defect is shown in cyan. The two average temperatures are shown in blue and green. The sample spacing in this example is 0,5 m.



IEC

Figure B.1 – Point defect measurement (example)

- 6) Repeat the calculation of the two average temperatures for the entire set of 20 traces, and form the grand average of each. Report the difference between the two grand averages, the point defect temperature offset. One point defect temperature offset shall be calculated for each measurement time.
- 7) Calculate the standard deviation of the 51 points in each of the two sections. Repeat the calculation for the entire set of 20 traces, and take the average of the 20 results to obtain the temperature standard deviation σ of each section.
- 8) For each trace, use the two measured temperature standard deviations to obtain error bounds at $\pm 3\sigma$ about the two average temperatures on each side of the nominal location of the point defect (these are shown as dashed lines).
- 9) Calculate the location of the first sample point within ± 25 m of the nominal defect location to lie outside the left (green) error bounds, and the location of the last sample point within ± 25 m of the nominal defect location to lie outside the right (blue) error bounds. Repeat the calculation for the entire set of 20 traces, and calculate the median of the 20 results to obtain the temperature dead zone. One temperature dead zone shall be calculated for each measurement time.
- 10) Use the parameter calculation method from 5.1 to calculate the temperature measurement error for the test fibre, excluding the 25 m each side of the nominal location of the point defect. One temperature measurement error value shall be calculated for each measurement time.
- 11) The test results shall be reported including the following information:

- a) the type of point defect introduced and its location; as well as measurements of loss, back-reflection, or other parameters, if available;
- b) the measurement times and spatial resolution used;
- c) the measured temperature dead zone;
- d) the measured point defect temperature offset;
- e) the measured temperature measurement error.

If an appropriate baseline exists (i.e. a measurement of temperature measurement error using the same length and type of fibre as in the point defect test), the baseline calibration uncertainty shall also be reported. It is recommended that the baseline temperature measurement error is always reported.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-2-2:2016

Bibliography

SEAFOM-MSP-01:2010, *Measurement Specification for Distributed Temperature Sensing*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-2-2:2016

SOMMAIRE

SOMMAIRE	32
AVANT-PROPOS	34
INTRODUCTION	36
1 Domaine d'application	37
2 Références normatives	37
3 Termes et définitions	38
4 Montages d'essai généraux pour la mesure des paramètres de performance	42
4.1 Exigences générales et relatives aux montages d'essai	42
4.2 Informations générales à consigner dans le rapport	43
5 Procédures de mesure des paramètres de performance	44
5.1 Erreur de mesure de la température	44
5.1.1 Procédure et conditions d'essai	44
5.1.2 Calcul des paramètres	45
5.2 Résolution spatiale	48
5.2.1 Procédure et conditions d'essai	48
5.2.2 Calcul des paramètres	49
5.3 Répétabilité de la température	49
5.3.1 Procédure et conditions d'essai	49
5.3.2 Calcul des paramètres	50
5.3.3 Formules	51
5.4 Incertitude spatiale de la température	52
5.4.1 Procédure et conditions d'essai	52
5.4.2 Calcul des paramètres	52
5.5 Stabilité de la température ambiante	53
5.5.1 Procédure et conditions d'essai	53
5.5.2 Calcul des paramètres	54
5.6 Durée de préchauffage	55
5.6.1 Procédure et conditions d'essai	55
5.6.2 Calcul des paramètres	56
5.7 Plage d'affaiblissement	58
5.7.1 Procédure et conditions d'essai	58
5.7.2 Calcul des paramètres	59
Annexe A (informative) Tableau des paramètres de mesure de performance	60
Annexe B (informative) Effets des défauts ponctuels	62
B.1 Généralités	62
B.2 Défaut ponctuel	62
B.3 Procédures et conditions d'essai	62
Bibliographie	65
Figure 1 – Exemple d'une trace thermique avec points échantillons de température	40
Figure 2 – Montage d'essai général: à fibre unique	42
Figure 3 – Montage d'essai général: configuration à boucle de fibre	42
Figure 4 – Calcul de l'erreur de mesure de la température: étape 1	46
Figure 5 – Calcul de l'erreur de mesure de la température: étapes 2 à 3	47

Figure 6 – Calcul de l'erreur de mesure de la température: étapes 4 à 5.....	48
Figure 7 – Représentation de la résolution spatiale.....	49
Figure 8 – Répétabilité de la température calculée à partir de la Figure 4	51
Figure 9 – Incertitude spatiale de la température calculée à partir de la Figure 4	53
Figure 10 – Cycle de température ambiante (exemple pour un instrument DTS avec une plage de températures de fonctionnement de 0 °C à 40 °C)	54
Figure 11 – Méthode de calcul des paramètres de stabilité de la température ambiante	55
Figure 12 – Exemple illustrant le calcul de la durée de préchauffage	57
Figure B.1 – Mesure des défauts ponctuels (exemple)	63
Tableau A.1 – Tableau des paramètres de mesure de performance vierge.....	60

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-2-2:2016

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CAPTEURS À FIBRES OPTIQUES –

Partie 2-2: Mesure de température – Détection répartie

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 61757-2-2 a été établie par le sous-comité SC 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du Comité technique 86 de l'IEC: Fibres optiques.

La présente version bilingue (2020-09) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2016-05.

La version française de cet amendement n'a pas été soumise au vote.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61757, publiées sous le titre général *Capteurs à fibres optiques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Cette Norme internationale doit être utilisée conjointement avec l'IEC 61757-1:2012.

Le comité a 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-2-2:2016

INTRODUCTION

Il a été décidé de restructurer la série IEC 61757 selon la logique suivante. Dorénavant, les sous-parties sont renumérotées sous la forme IEC 61757-*M-T* où *M* désigne la mesure et *T* la technologie.

La partie existante IEC 61757-1:2012 sera renumérotée IEC 61757 lorsqu'elle sera révisée et servira de document cadre pour toute la série.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-2-2:2016

CAPTEURS À FIBRES OPTIQUES –

Partie 2-2: Mesure de température – Détection répartie

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61757 définit les spécifications particulières de la mesure de température répartie par un capteur à fibres optiques, également connue sous l'appellation détection de température répartie (DTS) à fibres optiques. La DTS utilise les effets des diffusions de Raman, de Brillouin et de Rayleigh. De plus, les mesures basées sur une diffusion de Raman ou de Rayleigh sont uniquement effectuées avec une configuration à fibre unique. Les mesures basées sur une diffusion de Brillouin sont effectuées avec une configuration à fibre unique ou à boucle de fibre. La technique accessible simultanément des deux extrémités [par exemple Brillouin optical time domain analysis, BOTDA (analyse à capteurs à fibres optiques répartis utilisant la diffusion Brillouin dans le domaine temporel)] est appelée ici configuration à boucle. Les spécifications génériques applicables aux capteurs à fibres optiques sont définies dans l'IEC 61757-1:2012.

La présente partie de l'IEC 61757 spécifie les paramètres de performance les plus importants de la DTS et définit les procédures pour leur détermination. En plus du groupe de paramètres de performance, une liste de paramètres supplémentaires a été définie pour venir à l'appui de la définition des spécifications de mesure et de leurs procédures d'essai associées. Les définitions de ces paramètres supplémentaires sont fournies à titre d'information et il convient de les inclure dans les ensembles de paramètres de performance.

Un montage d'essai général est défini et permet d'obtenir tous les paramètres par un ensemble d'essais. Les essais spécifiques sont décrits dans l'article pour chaque paramètre de mesure. Ce montage d'essai général est décrit à l'Article 4, ainsi qu'une liste d'informations générales qu'il convient de consigner en fonction de l'instrument DTS spécifique et du montage d'essai utilisé pour mesurer ces paramètres, conformément à l'IEC 61757-2-2.

L'Annexe A fournit un tableau de paramètres de performance vierge dans lequel il convient de consigner les valeurs des paramètres de performance d'un instrument DTS donné et de la configuration choisie pour le montage d'essais optiques.

L'Annexe B fournit des lignes directrices pour la détermination facultative des effets des défauts ponctuels.

2 Références normatives

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

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Electrotechnique International* (disponible sur <http://www.electropedia.org>)

IEC 61757-1:2012, *Capteurs à fibres optiques – Partie 1: Spécification générique*

IEC TR 61931, *Fibres optiques – Terminologie*

ISO/IEC Guide 99, *Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions données dans l'IEC 61757-1:2012, l'IEC 60050, l'IEC TR 61931 et l'ISO/IEC Guide 99 (VIM), ainsi que les suivantes, s'appliquent.

3.1

plage d'affaiblissement

affaiblissement optique cumulé total (affaiblissement unidirectionnel) toléré par le système DTS sans affecter la performance de mesure spécifiée plus qu'un facteur donné à un emplacement, une résolution spatiale et une durée de mesure donnés

Note 1 à l'article: Une partie de l'affaiblissement cumulé total peut être l'affaiblissement de la fibre, les affaiblissements par défauts ponctuels introduits par des composants tels que les connecteurs, les épissures, les coudes dans la fibre, les affaiblisseurs.

Note 2 à l'article: La plage d'affaiblissement est exprimée en décibels (dB).

3.2

étendue de mesure de la distance

distance maximale depuis le connecteur de sortie de l'instrument DTS le long du capteur à fibres optiques sur laquelle l'instrument mesure une température avec une performance de mesure spécifiée dans des conditions définies

Note 1 à l'article: Ce paramètre d'appui est étroitement lié à la plage d'affaiblissement de l'instrument. Dans les cas d'essai utilisés pour prouver ou vérifier les spécifications déclarées, la longueur totale des fibres doit être supérieure ou égale à l'étendue de mesure de la distance spécifiée.

Note 2 à l'article: L'étendue de mesure de la distance est exprimée en unités de longueur (m ou km).

3.3

répétabilité de la température ambiante

différence de la température constante mesurée du capteur à fibres optiques, à une température spécifiée de l'instrument (par exemple température de fonctionnement nominale), avant et après le cycle de température de l'instrument, sur toute la plage de températures de fonctionnement de l'instrument

Note 1 à l'article: Ce paramètre est déduit de la stabilité de la température ambiante.

3.4

stabilité de la température ambiante

différence de la température constante mesurée du capteur à fibres optiques avant, pendant et après le cycle de température de l'instrument DTS, sur toute la plage de températures de fonctionnement de l'instrument

Note 1 à l'article: L'effet de la température ambiante dans le cas le plus défavorable, l'effet d'une température ambiante élevée/basse et la répétabilité de la température ambiante sont dérivés de cette définition.

3.5

effet d'une température ambiante élevée/basse

différence de la température constante mesurée du capteur à fibres optiques à la limite de température haute et basse de la plage de température de fonctionnement de l'instrument

Note 1 à l'article: Ce paramètre est déduit de la stabilité de la température ambiante.

3.6

point chaud

longueur du capteur à fibres optiques (ΔL) qui est exposée à une variation de température mesurable (ΔT) qui est nettement supérieure à la répétabilité de la température de l'instrument et qui est confirmée par des dispositifs de température de référence dans les deux enceintes thermostatiques.

Note 1 à l'article: Voir Article 4 et Figure 7.

3.7

L

emplacement

distance optique (spécifiée en unités de longueur) entre le connecteur de sortie de l'instrument DTS et un point échantillon de température souhaité le long du capteur à fibres optiques

Note 1 à l'article: L'emplacement le plus éloigné du connecteur de sortie de l'instrument DTS pour l'essai particulier est quantifié comme Z m et est souvent choisi pour être le même que l'étendue de mesure de la distance afin de comparer les résultats de mesure avec les spécifications déclarées.

3.8

durée de mesure

temps entre deux mesures de température indépendantes lors de mesures successives sur un capteur à fibre optique unique

Note 1 à l'article: Ce paramètre comprend le temps d'acquisition et le temps de traitement des données mesurées. Ce paramètre peut être choisi par l'utilisateur, généralement de manière limitée. Plusieurs mesures de température indépendantes peuvent être moyennées pour obtenir une durée de mesure globale.

Note 2 à l'article: De même, il s'agit de l'intervalle de temps entre les horodatages successifs des traces thermiques dans ces conditions.

3.9

défait ponctuel

écart local d'un capteur à fibres optiques par rapport à ses propriétés optiques et mécaniques nominales, se produisant en un seul emplacement ou sur une longueur sensiblement inférieure à la résolution spatiale de l'instrument DTS

Note 1 à l'article: La définition d'un défaut ponctuel englobe un large éventail de situations, qui peuvent produire des effets similaires sur la trace thermique. Exemples:

- un affaiblissement ponctuel, comme une mauvaise épissure de fibre;
- une rétro réflexion, telle qu'elle peut provenir d'un connecteur de fibre;
- une région localisée à fort affaiblissement, comme une courbure ou un coude dans la fibre;
- une discontinuité physique dans la fibre, telle qu'une épissure entre deux fibres de diamètres de cœur différents.

3.10

décalage en température par défaut ponctuel

différence entre les valeurs moyennes des points échantillons de température dans deux zones de la trace thermique, une de chaque côté d'un défaut ponctuel, où les températures réelles du capteur à fibres optiques sont identiques

Note 1 à l'article: Le décalage en température par défaut ponctuel peut être positif, négatif ou nul.

3.11

espacement des points échantillons

distance entre deux points échantillons consécutifs dans une seule trace thermique

Note 1 à l'article: Voir Figure 1.

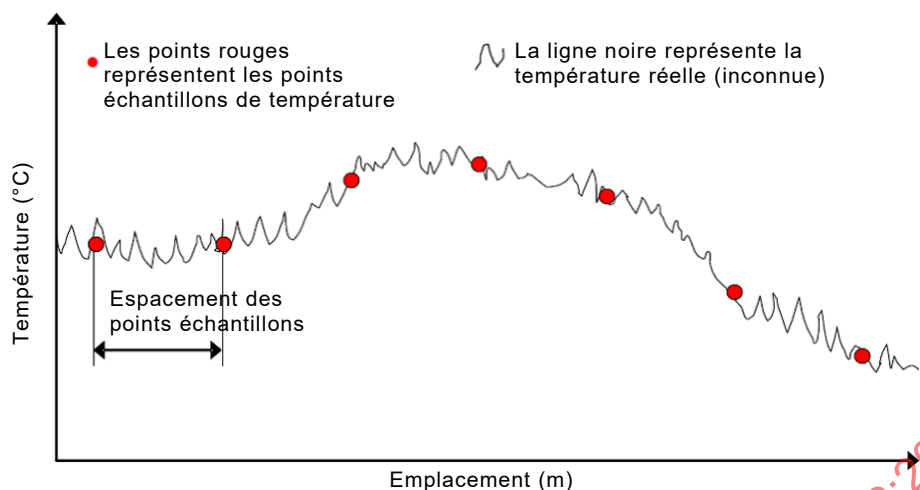


Figure 1 – Exemple d'une trace thermique avec points échantillons de température

Note 2 à l'article: L'espacement des points échantillons peut être un paramètre de l'instrument choisi par l'utilisateur.

Note 3 à l'article: L'étendue de mesure de la distance est exprimée en unités de longueur (en m).

Note 4 à l'article: En cas de résolution d'espacement très élevée, l'étendue de mesure de la distance peut être exprimée en cm ou en mm.

3.12

résolution spatiale

plus petite longueur d'un capteur à fibres optiques affecté par la température pour laquelle un système DTS peut mesurer la température de référence de l'état de la fibre du point chaud dans les limites de l'erreur de mesure de température spécifiée du système DTS

3.13

incertitude spatiale de la température

incertitude de la localisation des données de température dans une seule trace thermique exprimée par le double de l'écart-type d'un nombre spécifié de points échantillons de température adjacents, le capteur à fibres optiques étant maintenu à température constante

3.14

zone d'insensibilité à la température

zone limitée d'une trace thermique, où les points échantillons de température s'écartent des parties non perturbées de la trace d'une limite spécifiée en raison d'un défaut ponctuel

3.15

erreur de mesure de la température

différence maximale entre une moyenne mobile centrée et uniformément pondérée de la température mesurée et une température de référence pour tous les points de données du capteur à fibres optiques sur toute la plage de températures de fonctionnement et tous les temps d'acquisition

Note 1 à l'article: La valeur unique (cas le plus défavorable) est spécifiée en unités de température (par exemple $\pm 0,8$ °C).

Note 2 à l'article: Le nombre d'éléments utilisés pour la moyenne mobile est défini à l'Article 5. Dans les applications pratiques, d'autres méthodes de lissage peuvent s'appliquer.

3.16**répétabilité de la température**

fidélité des données de température basée sur des traces thermiques répétées à un emplacement donné, exprimée par le double de l'écart-type des points échantillons de température correspondants dans chaque trace thermique, le capteur à fibres optiques étant maintenu à température constante

3.17**point échantillon de température**

valeur de la température mesurée associée à un point unique à un emplacement connu le long d'un capteur à fibres optiques

Note 1 à l'article: En raison des effets thermodynamiques, la valeur mesurée représente la température le long d'une très petite section du capteur à fibres optiques qui comprend le point.

3.18**trace thermique**

ensemble de points échantillons de température répartis le long d'un capteur à fibres optiques et séparés par l'espacement des points échantillons

Note 1 à l'article: Tous les points échantillons sont associés à une durée de mesure commune, souvent appelée horodatage de la trace. Les valeurs mesurées représentent la température pendant une période qui inclut l'horodatage.

Note 2 à l'article: Tous les points échantillons dans une trace thermique sont des valeurs mesurées produites par l'instrument DTS et non des valeurs interpolées ou lissées produites par un traitement postérieur en dehors de l'instrument.

3.19

Z

longueur totale de la fibre

distance entre le connecteur de sortie de l'instrument DTS et l'extrémité finale du capteur à fibres optiques

Note 1 à l'article: L'extrémité finale du capteur à fibres optiques peut être soit une extrémité coupée ou terminée intentionnellement de la fibre physiquement éloignée de l'instrument (dans une configuration à fibre unique), soit l'extrémité d'une boucle constituée d'un connecteur qui est raccordé au même instrument (dans une configuration à boucle).

Note 2 à l'article: Ce paramètre est supérieur ou égal à la mesure de la distance.

Note 3 à l'article: L'étendue de mesure de la distance est exprimée en unités de longueur (m ou km).

3.20**durée de préchauffage**

temps s'écoulant entre le début de la première mesure de la température et le moment où l'instrument DTS est conforme aux spécifications de mesure spécifiées

3.21**effet de la température ambiante dans le cas le plus défavorable**

différence maximale de la température constante mesurée du capteur à fibres optiques à différents emplacements le long du capteur pendant le cycle de température de l'instrument DTS sur toute la plage de températures de fonctionnement de l'instrument

Note 1 à l'article: Ce paramètre est déduit de la stabilité de la température ambiante.

4 Montages d'essai généraux pour la mesure des paramètres de performance

4.1 Exigences générales et relatives aux montages d'essai

Les montages d'essai généraux pour les configurations à fibre unique et à boucle sont représentés schématiquement respectivement à la Figure 2 et à la Figure 3. Ils ont pour objet de constituer une base commune pour déterminer les spécifications des mesures tout en réduisant le plus possible la complexité, le coût, les exigences de reconfiguration et le temps d'exécution des essais.

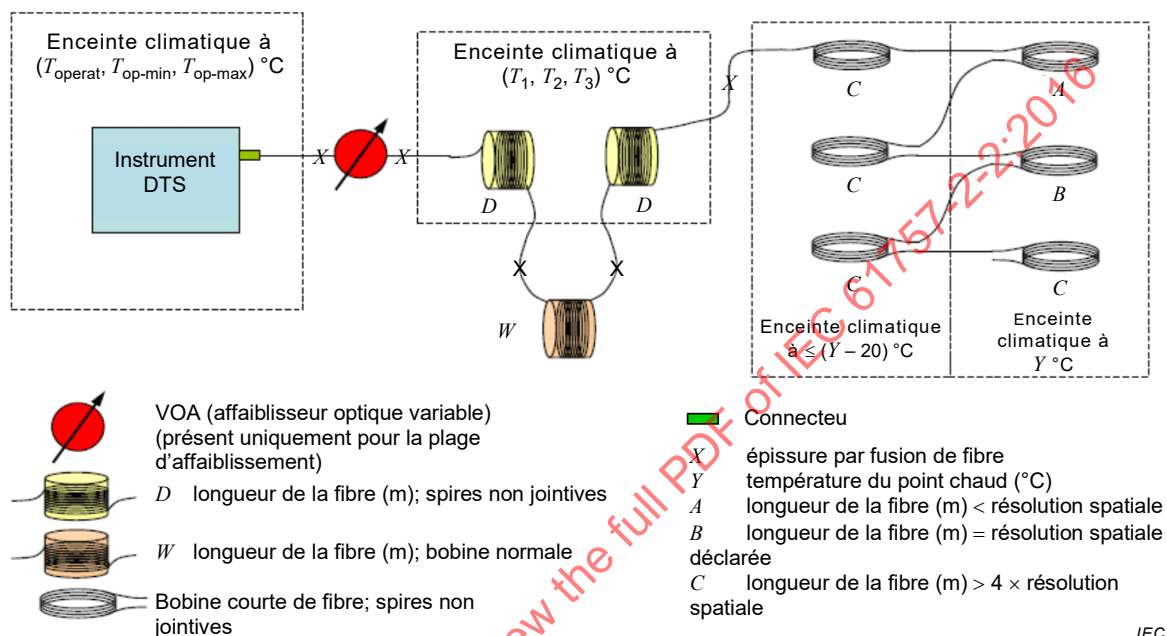


Figure 2 – Montage d'essai général: à fibre unique

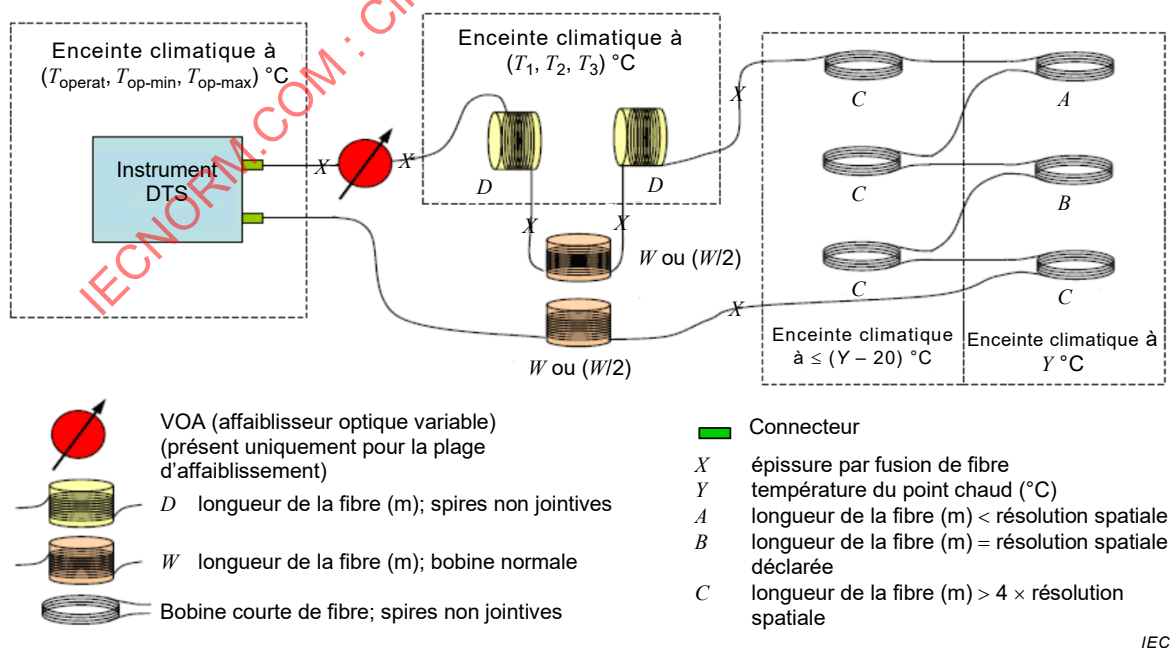


Figure 3 – Montage d'essai général: configuration à boucle de fibre

Des procédures d'évaluation individuelles peuvent être effectuées avec un type de montage modifié fournissant les conditions de mesure exigées. Dans ce cas, une description détaillée du montage et une documentation sont exigées.

Les longueurs de fibre *A*, *B* et *C* des bobines de fibre dans les enceintes thermostatiques à l'extrémité du montage doivent être choisies en fonction de la résolution spatiale prévue du système DTS. Les longueurs de fibres *D* et *W* à l'intérieur et à l'extérieur de la chambre centrale doivent être choisies de manière à ce que la longueur totale des fibres, *Z*, corresponde à l'étendue de mesure de la distance du modèle de DTS particulier soumis à essai. L'utilisation de la longueur de fibre *D* située avant et après une longue longueur de fibre *W* (qui constitue la longueur totale de fibre *Z*), fournit un montage d'essai pouvant accueillir divers instruments avec différentes étendues de mesure de la distance. La longueur de fibre, *D*, doit être égale à 10 % de la longueur totale de fibre, *Z*. Toutefois, l'utilisation d'une longueur de fibre à l'extérieur de l'enceinte centrale est facultative, toutes les fibres peuvent être contenues dans l'enceinte, si souhaité, sous forme de bobines uniques ou multiples. La longueur totale de la fibre, *Z*, est égale à la longueur totale de la fibre depuis le connecteur de l'instrument jusqu'à l'extrémité de la section de fibre correspondant à la résolution spatiale, représentée par les longueurs de fibre *A*, *B* et *C*.

Un montage d'essai symétrique représente le montage normal du fonctionnement de terrain. C'est ce que reflète le montage d'essai décrit à la Figure 3. La longueur de la fibre, *W*, constitue la longueur totale de fibre, *Z*. Dans le cas d'une comparaison de systèmes avec un montage d'essai à fibre unique, la longueur des bobines normales doit être égale à $(2 \times W/2)$. Ceci garantit le même affaiblissement global. Dans tous les autres cas, la longueur des bobines normales doit être égale à $(2 \times W)$.

Il convient d'utiliser des épissures par fusion pour la connexion des fibres afin de réduire le plus possible les affaiblissements optiques supplémentaires et les rétroreflexions indésirables. La connexion des fibres par des connecteurs doit assurer une perte d'insertion et des rétroreflexions faibles.

Les fibres dans les enceintes doivent être enroulées de telle manière (spires non jointives) que la fibre soit complètement exposée à la température ambiante et qu'il n'y ait pas de déformation des fibres. Une bobine normale signifie dans ce cas une bobine de fibre telle que livrée par le fournisseur de fibre.

Il faut noter que le montage d'essai général fournit uniquement un schéma. Dans la pratique, la mise en œuvre peut différer à certains égards, par exemple en remplaçant l'une des enceintes contenant des fibres par des bains d'étalonnage remplis de liquide ou en remplaçant la double enceinte par une autre mise en œuvre qui assure une différence de température suffisamment importante et nette entre les bobines (au moins 20 °C se produisant sur au plus 50 % de la résolution spatiale assignée).

Il est exigé que l'incertitude de la mesure de la température de référence soit au moins 5 fois inférieure à l'erreur de mesure de la température qui est évaluée. Ces capteurs de température de référence ne sont pas représentés dans les schémas des montages, mais ils doivent être présents et correctement étalonnés dans chaque enceinte thermostatique et/ou bain.

Il n'est pas nécessaire de définir des exigences concernant l'homogénéité ou la stabilité des enceintes, ou la précision de l'échelon de température réalisé. Si les qualités de ces montage d'essai ne sont pas réalisées à un niveau suffisant, les données de mesure ne sont que plus prudentes (moins performantes).

L'instrument DTS soumis à essai doit être étalonné conformément aux recommandations du fabricant avant d'effectuer toute mesure.

4.2 Informations générales à consigner dans le rapport

Les informations générales à consigner sont les suivantes:

- la date de réalisation de tous les essais;
- le nom de l'organisation qui effectue les essais;
- la configuration du montage d'essai;
- le mode de fonctionnement de l'instrument DTS (configuration à fibre unique ou à boucle comme représenté aux Figures 2 et 3, ou canal ou canaux soumis à essai dans le cas d'un système multicanal utilisant le même matériel);
- la ou les longueurs d'onde des signaux envoyés (la ou les longueurs d'onde de fonctionnement);
- le fabricant, le modèle et le numéro de série de l'instrument DTS;
- le fabricant, le modèle et la longueur du capteur à fibres optiques dans le montage d'essai (à l'intérieur de la ou des enceintes thermostatiques);
- l'affaiblissement optique (unidirectionnel en dB) du montage optique jusqu'à l'extrémité du capteur (Z m);
- la longueur d'onde utilisée pour mesurer l'affaiblissement à l'extrémité du capteur (Z m);
- l'étendue de mesure de la distance de l'instrument DTS;
- l'espacement des points échantillons utilisé pour toutes les mesures;
- le réglage de la résolution spatiale utilisé pour toutes les mesures;
- la durée de mesure utilisée lors de l'étalonnage de l'instrument DTS;
- les longueurs des bobines A , B , C et D et de la ou des bobines à joues W de fibre;
- les températures nominales des deux parties des enceintes doubles en °C;
- les limites de température de fonctionnement maximale (chaude) et minimale (froide) (°C) de l'instrument DTS.

Les informations générales exigées pour l'instrument DTS soumis à l'essai et le montage d'essai associé doivent être consignées conjointement avec les spécifications de mesure calculées.

5 Procédures de mesure des paramètres de performance

5.1 Erreur de mesure de la température

5.1.1 Procédure et conditions d'essai

Les étapes suivantes doivent être suivies:

- 1) utiliser un montage d'essai général comme représenté à l'Article 4;
- 2) faire en sorte que la longueur totale de fibre, Z , soit supérieure ou égale à l'étendue de mesure de la distance déclarée pour l'instrument DTS spécifique à soumettre à essai;
- 3) placer l'instrument DTS dans une enceinte thermostatique et le stabiliser à la température de fonctionnement (par exemple $[20 \pm 0,5]$ °C). Attendre suffisamment longtemps avant d'effectuer les étapes suivantes pour que l'instrument atteigne l'équilibre thermique avec l'environnement conformément aux recommandations du fabricant (temps de démarrage). La température de fonctionnement doit être définie par le fabricant de l'instrument DTS;
- 4) étalonner l'instrument DTS conformément aux recommandations du fabricant sur une plage de températures de la fibre définie qui correspond à l'application. La plage de températures de la fibre doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et le client;

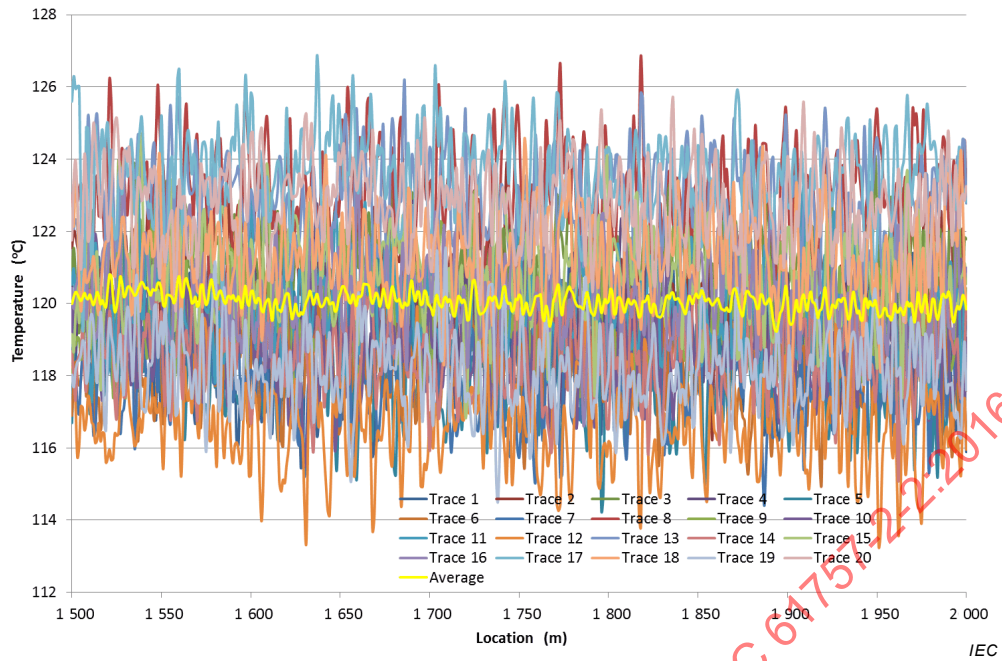
- 5) stabiliser la température à $\pm 0,5$ °C près de la ou des longueurs de fibre contrôlées, D , à trois températures représentatives T_1 , T_2 et T_3 dans la plage de températures spécifiée. Les trois plages de température représentatives doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et le client;
- 6) collecter 20 traces thermiques pendant chacune des trois durées de mesure exigées (durée la plus courte fournie par l'instrument DTS, durée recommandée et durée la plus longue possible fournie par l'instrument DTS) pour chaque température de fibre.

NOTE Les mêmes ensembles de données peuvent être utilisés pour l'évaluation des performances de la résolution spatiale, de l'incertitude spatiale de la température et de la répétabilité de la température.

5.1.2 Calcul des paramètres

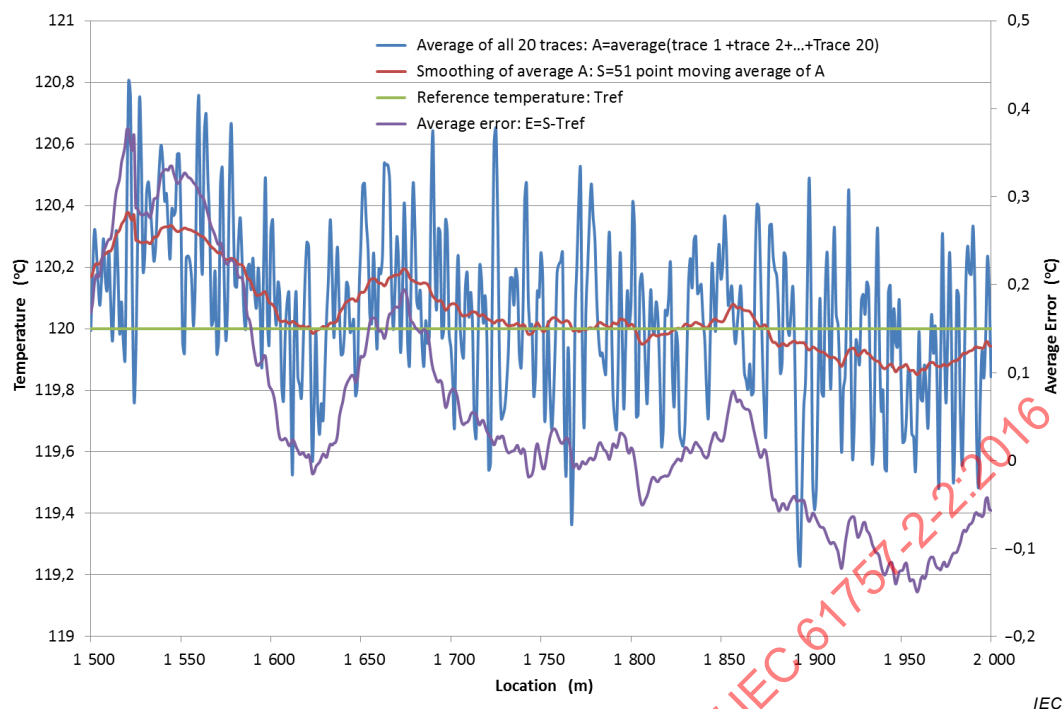
Pour le calcul de l'erreur de mesure de la température, les étapes suivantes doivent être effectuées (voir Figures 4 à 5):

- 1) calculer la moyenne des 20 traces thermiques pour chaque point échantillon de température sur l'ensemble de l'emplacement;
- 2) calculer la moyenne lissée en calculant une moyenne mobile centrée et uniformément pondérée sur 51 des données de température moyenne (relevés DTS);
- 3) calculer l'erreur moyenne pour chaque point échantillon en soustrayant la moyenne lissée de la température réelle de la fibre (telle que mesurée par un capteur de référence étalonné indépendant) sur l'ensemble de l'emplacement. Voir Figure 5;
- 4) calculer l'erreur moyenne absolue en prenant la valeur absolue de chaque erreur moyenne pour chaque point échantillon de température;
- 5) l'erreur de mesure de la température pour cette série de conditions d'essai est la valeur maximale de toutes les valeurs d'erreur moyenne absolue qui correspondent aux mesures collectées sur la longueur de fibre qui se trouvait clairement à l'intérieur de l'enceinte thermostatique stabilisée. Les données de température des longueurs de fibres à l'extérieur de l'enceinte thermostatique stabilisée (par exemple l'extrémité ou le fil des longueurs de fibres, la longueur W de la fibre) ne doivent pas être utilisées pour le calcul de l'erreur de mesure de la température. Voir Figure 6;
- 6) répéter les étapes de calcul 1 à 5 pour toutes les autres séries de conditions d'essai (il y a 3 conditions au total pour chaque durée de mesure);
- 7) consigner les paramètres d'essai et toutes les 9 valeurs mesurées pour l'erreur de mesure de la température.



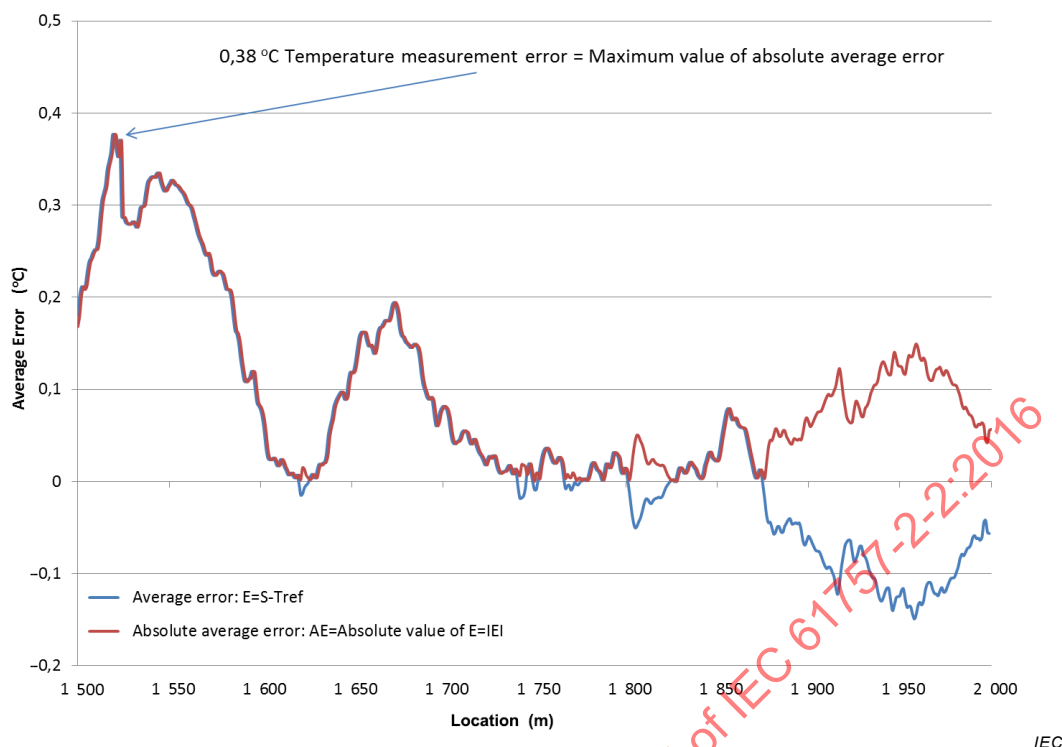
Anglais	Français
Trace 1	Trace 1
Average	Moyenne
Temperature (°C)	Température (°C)
Location (m)	Emplacement (m)

Figure 4 – Calcul de l'erreur de mesure de la température: étape 1



Anglais	Français
Average of all 20 traces: A=average (trace 1 + trace 2 + ... + Trace 20)	Moyenne de l'ensemble des 20 traces: A = moyenne de (trace 1 + trace 2 + ... + trace 20)
Smoothing of average A: S=51 point moving average of A	Lissage de la moyenne A: S = moyenne mobile de A sur 51 points
Reference temperature: Tref	Température de référence: Tréf
Average error: E=S-Tref	Erreur moyenne: E = S – Tréf
Temperature (°C)	Température (°C)
Average Error (°C)	Erreur moyenne (°C)
Location (m)	Emplacement (m)

Figure 5 – Calcul de l'erreur de mesure de la température: étapes 2 à 3



Anglais	Français
0,38 °C Temperature measurement error = Maximum value of absolute average error	0,38 °C Erreur de mesure de la température = Valeur maximale de l'erreur moyenne absolue
Average error: $E=S-T_{ref}$	Erreur moyenne: $E = S - R_{\text{ref}}$
Absolute average error: $AE=Absolute\ value\ of\ E= E $	Erreur moyenne absolue: $AE = Valeur\ absolue\ de\ E = E $
Location (m)	Emplacement (m)
Average Error (°C)	Erreur moyenne (°C)

Figure 6 – Calcul de l'erreur de mesure de la température: étapes 4 à 5

5.2 Résolution spatiale

5.2.1 Procédure et conditions d'essai

Les étapes suivantes doivent être suivies:

- 1) attendre suffisamment longtemps avant de soumettre le matériel à essai pour qu'il atteigne l'équilibre thermique avec l'environnement conformément aux recommandations du fabricant;
- 2) utiliser un montage d'essai général comme représenté à l'Article 4;
- 3) les longueurs des segments de fibre des points chauds doivent être égales à ce qui suit:
 - a) la longueur A doit être inférieure à la résolution spatiale déclarée de l'instrument DTS, de telle sorte qu'aucun point de température n'indique à lui seul la température de référence du point chaud;
 - b) la longueur B doit être égale à la résolution spatiale déclarée pour l'instrument DTS soumis à essai, de sorte qu'un point de données représente une augmentation de la valeur de la température $> 90\%$ de la température de référence du segment;
 - c) la longueur C doit être supérieure à 4 fois la résolution spatiale déclarée pour l'instrument DTS soumis à essai;

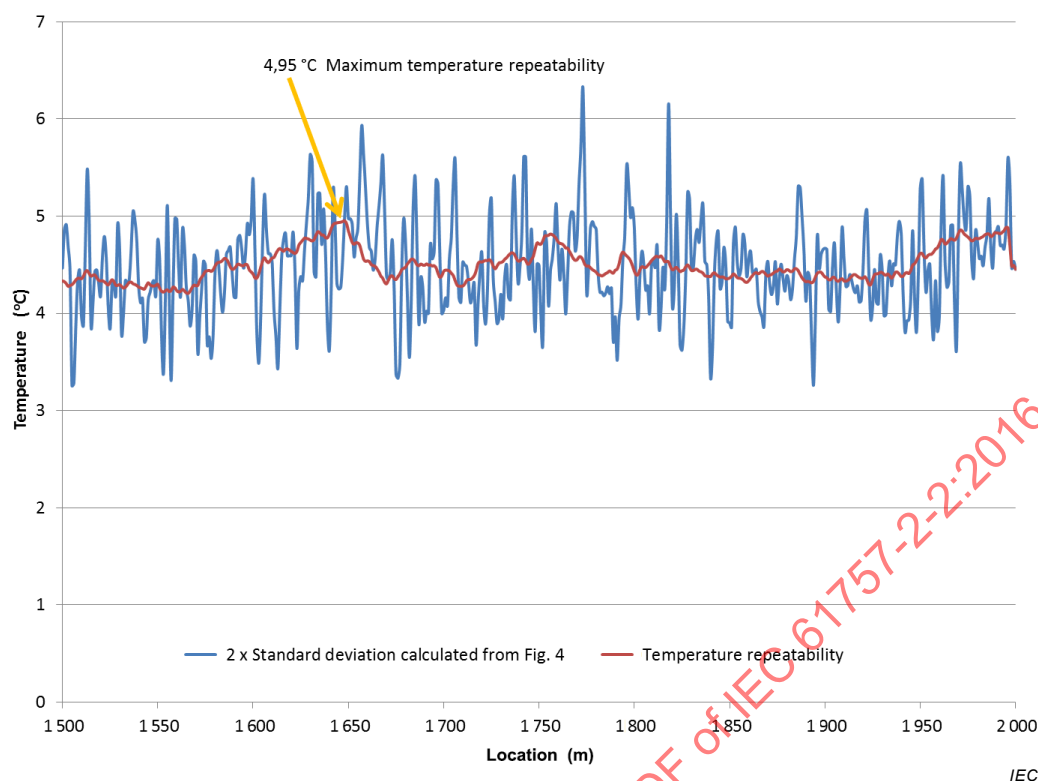
- b) pour trois températures de fibres représentatives (T_1 , T_2 et T_3) en fonction de l'application souhaitée;
- 5) l'ensemble de données de performance comprend 9 sous-ensembles de données pour les paires de durées de mesure et de températures de fibres spécifiées ci-dessus;
- 6) chaque sous-ensemble sert à évaluer les valeurs de la répétabilité de la température sur la longueur.

5.3.2 Calcul des paramètres

Pour le calcul de la répétabilité de la température (Figure 8), les étapes suivantes doivent être suivies:

- 1) collecter 20 traces consécutives pour chaque sous-ensemble de données (par exemple traces pour une durée de mesure de 10 min à une température de fibre représentative (T_1 , T_2 et T_3) comme indiqué à la Figure 4);
- 2) calculer le double de l'écart-type de la température pour chaque point échantillon en fonction du temps (20 traces consécutives). Tracer les valeurs calculées ci-dessus en fonction de la distance;
- 3) tracer une courbe S_i moyenne mobile centrée et uniformément pondérée sur 51 points pour sélectionner les valeurs de répétabilité de la température en fonction de la distance consignées pour chaque durée de mesure à chaque température de fibre;
- 4) consigner la valeur maximale de la répétabilité de la température de l'ensemble de données créé à l'étape 3;

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61757-2-2:2016



Anglais	Français
4,95°C Maximum temperature repeatability	4,95 °C Répétabilité maximale de la température
2 x Standard deviation calculated from Fig. 4	Double de l'écart-type calculé à partir de la Figure 4
Temperature repeatability	Répétabilité de la température
Location (m)	Emplacement (m)
Temperature (°C)	Température (°C)

Figure 8 – Répétabilité de la température calculée à partir de la Figure 4

- 5) répéter cette procédure à chaque durée de mesure pour les deux autres températures de fibres représentatives (T_1 , T_2 , T_3).

5.3.3 Formules

L'écart-type en 5.3.2, étape 2, est calculé à l'aide de:

$$S_x(i) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N \left(T_j(i) - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N T_j(i) \right)^2} \quad (1)$$

où

$T_j(i)$ sont les données de température collectées au i^{e} emplacement de la j^{e} trace;

$S_x(i)$ est l'écart type pour chaque point de données (i^{e} emplacement dans une trace) en fonction du temps (N traces consécutives);

N est le nombre de traces ($N = 20$).

La répétabilité de la température, S , est calculée en utilisant la moyenne mobile appliquée sur le double de l'écart-type à l'aide de:

$$S(i) = \frac{1}{51} \sum_{k=(i-25)}^{i+25} 2 \cdot S_x(k) \quad (2)$$

où

$S(i)$ est la répétabilité de la température au i^{e} emplacement.

5.4 Incertitude spatiale de la température

5.4.1 Procédure et conditions d'essai

Les étapes suivantes doivent être suivies:

- 1) attendre suffisamment longtemps avant de soumettre le matériel à essai pour qu'il atteigne l'équilibre thermique avec l'environnement conformément aux recommandations du fabricant;
- 2) utiliser un montage d'essai général comme représenté à l'Article 4;
- 3) collecter 20 traces consécutives de données de température sur la longueur totale de la fibre, Z , définie comme spécifié en 5.1 après stabilisation de la température de la fibre:
 - a) pour chaque durée de mesure (durée la plus courte fournie par l'instrument DTS, durée recommandée et durée la plus longue possible fournie par l'instrument DTS);
 - b) pour trois températures de fibres représentatives (T_1 , T_2 et T_3) en fonction de l'application souhaitée.

5.4.2 Calcul des paramètres

Pour le calcul de l'incertitude spatiale de la température (Figure 9), les étapes suivantes doivent être suivies:

- 1) calculer le double de l'écart-type sur 51 points (centrés et pondérés uniformément) de la température, $T_j(i)$, collectée pour chaque point de données d'une seule trace thermique.

$$S_j(i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{l=(i-25)}^{(i+25)} \left(T_j(l) - \frac{1}{n} \sum_{k=(i-25)}^{(i+25)} T_j(k) \right)^2} \quad (3)$$

où

$T_j(i)$ sont les données de température collectées au i^{e} emplacement de la j^{e} trace;

$S_j(i)$ est l'écart-type sur 51 points au i^{e} emplacement de la j^{e} trace;

n est le nombre de points de données pour le calcul ($n = 51$);

- 2) calculer l'incertitude spatiale de la température $A(i)$ en moyennant $2 \times S_j(i)$ pour $N = 20$ traces recueillies en fonction du temps au i^{e} emplacement.

$$A(i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N 2 \cdot S_j(i) \quad (4)$$

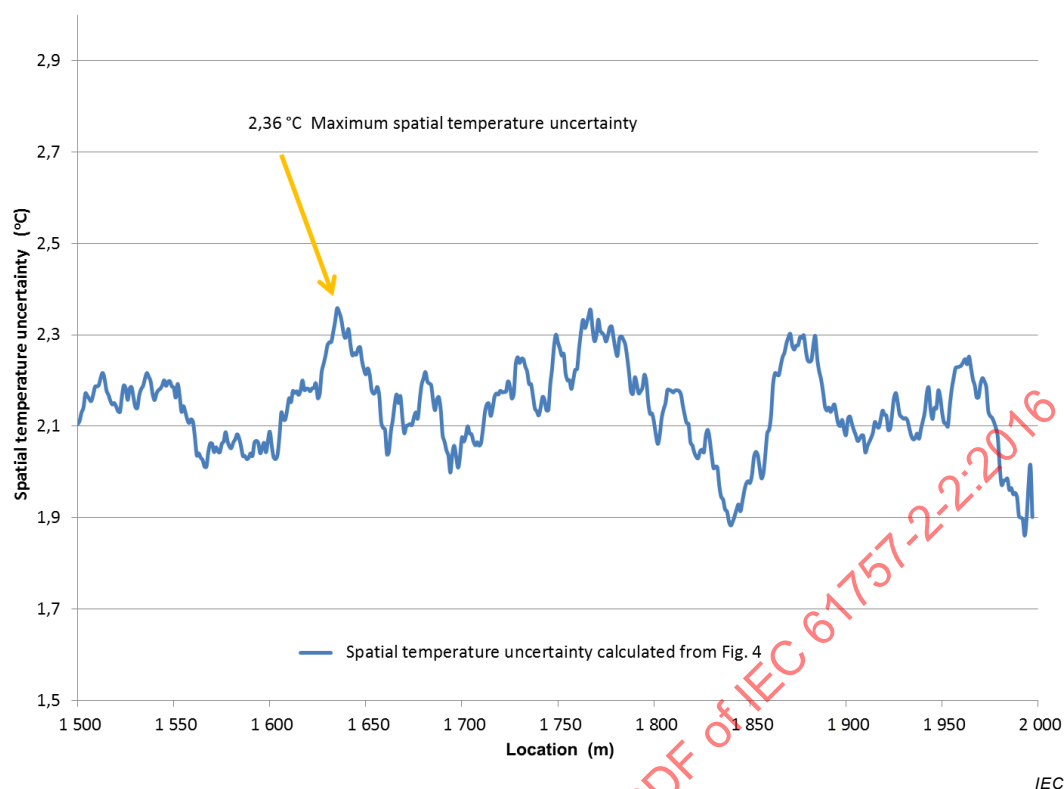
où

$A(i)$ est l'incertitude spatiale de la température;

$S_j(i)$ est l'écart-type sur 51 points au i^{e} emplacement de la j^{e} trace;

N est le nombre de traces ($N = 20$);

- 3) consigner la valeur de l'incertitude spatiale maximale de la température, $A(i)$, pour l'ensemble de données créé à l'étape 2).



Anglais	Français
2,36 °C Maximum spatial temperature uncertainty	2,36 °C Incertitude spatiale maximale de la température
Spatial temperature uncertainty calculated from Fig. 4	Incertitude spatiale de la température calculée à partir de la Figure 4
Location (m)	Emplacement (m)
Spatial temperature uncertainty (°C)	Incertitude spatiale de la température (°C)

Figure 9 – Incertitude spatiale de la température calculée à partir de la Figure 4

5.5 Stabilité de la température ambiante

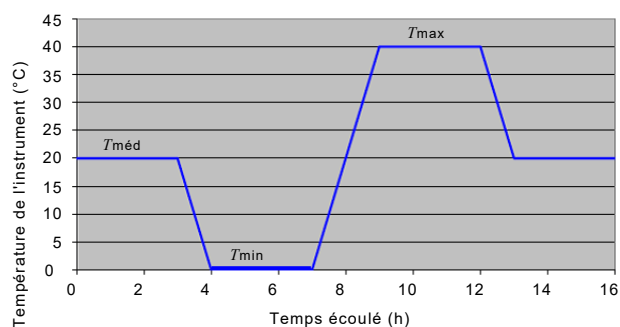
5.5.1 Procédure et conditions d'essai

Les étapes suivantes doivent être suivies:

- 1) attendre suffisamment longtemps avant de soumettre le matériel à essai pour qu'il atteigne l'équilibre thermique avec l'environnement conformément aux recommandations du fabricant;
- 2) utiliser un montage d'essai général comme représenté à l'Article 4;
- 3) la fibre doit être maintenue à une température constante ($T_{\text{const}} \pm 0,5 \text{ °C}$) pendant toute la durée de l'essai d'environnement. T_{const} doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur;
- 4) placer l'instrument DTS dans une enceinte thermostatique et modifier la température en fonction du cycle de température ambiante décrit à la Figure 10. T_{min} , $T_{\text{méd}}$ et T_{max} doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur. Chaque niveau de température doit être maintenu pendant 3 h. Les variations de température doivent être effectuées à une vitesse de 20 °C/h ;

Durée de l'étape (h)	Durée totale (h)	Température (°C)
	0	20
3	3	20
1	4	0
3	7	0
2	9	40
3	12	40
1	13	20
3	16	20

IEC



IEC

a) Tableau des profils de température

b) Graphique des profils de température

Figure 10 – Cycle de température ambiante (exemple pour un instrument DTS avec une plage de températures de fonctionnement de 0 °C à 40 °C)

- 5) collecter les traces thermiques pendant tout le cycle de température ambiante en utilisant une durée de mesure de 10 min.

5.5.2 Calcul des paramètres

Pour le calcul de la stabilité de la température ambiante, les étapes suivantes doivent être suivies:

- 1) calculer une moyenne mobile de 101 points (centrée et uniformément pondérée) des points échantillons de température à partir de chaque trace thermique collectée. Les extrémités antérieure et postérieure à la longueur des fibres (101 points) ne doivent pas être utilisées pour le calcul ci-dessous;
- 2) déterminer la variation crête à crête des températures moyennes mobiles à chaque point de distance de la fibre stabilisée en température sur l'ensemble des traces thermiques relevées au cours du cycle de température ambiante;
- 3) l'effet de la température ambiante dans le cas le plus défavorable doit être déclaré et consigné comme étant la valeur crête à crête la plus défavorable (maximale – minimale) calculée à l'étape précédente;
- 4) moyenner les températures moyennes mobiles sur 101 points pour chaque point échantillon de température calculé ci-dessus (étape 1) pour les 6 dernières traces thermiques relevées pendant chaque durée de maintien, c'est-à-dire moyenner les mesures de la dernière heure effectuées aux températures de maintien médiane, minimale, maximale et à nouveau médiane de la plage de fonctionnement de l'instrument;
- 5) calculer et consigner la différence entre ces valeurs, collectées à la température de fonctionnement maximale et à la température de fonctionnement médiane initiale, et prendre la différence maximale pour tout point échantillon de température comme l'effet de la température ambiante élevée;
- 6) calculer et consigner la différence entre les valeurs de l'étape 4, collectées à la température de fonctionnement minimale et à la température de fonctionnement médiane initiale, et prendre la différence maximale pour tout point échantillon de température comme l'effet d'une température ambiante basse;
- 7) calculer et consigner la différence entre les valeurs de l'étape 4, collectées à la température de fonctionnement médiane initiale et à la température de fonctionnement médiane finale, et prendre la différence maximale pour tout point échantillon de température comme la répétabilité de la température ambiante.

La Figure 11 permet une meilleure compréhension des calculs exigés.