

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Calibration of fibre optic chromatic dispersion test sets

Étalonnage des ensembles d'essai de la dispersion chromatique fibronique

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61744:2023



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2023 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 Secretariat
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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Calibration of fibre optic chromatic dispersion test sets

Étalonnage des ensembles d'essai de la dispersion chromatique fibronique

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.180.01

ISBN 978-2-8322-6734-9

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
0 Introduction	6
0.1 Chromatic dispersion in optical fibres	6
0.2 Chromatic dispersion (CD) test sets	6
0.3 Overview of calibration procedures described in this document	6
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
4 Calibration	11
4.1 General	11
4.2 Preparation for calibration	12
4.2.1 General advice and organization	12
4.2.2 Environmental conditions requirements	12
4.2.3 Measurement equipment requirements	12
4.2.4 Traceability	12
4.3 Calibration procedure	13
5 Wavelength and delay calibration procedure	13
5.1 Wavelength calibration procedure	13
5.1.1 General	13
5.1.2 Discrete sources	13
5.1.3 Tuneable sources	14
5.1.4 Uncertainties and reporting	16
5.2 Delay (dispersion) calibration procedure	17
5.2.1 General	17
5.2.2 Equipment and preparation	17
5.2.3 Calibration procedure	18
5.2.4 Uncertainties and reporting	19
6 Calibration using a reference fibre	19
6.1 General	19
6.2 Equipment and preparation	20
6.3 Procedure	20
6.4 Uncertainties and reporting	21
7 Documentation	21
7.1 General	21
7.2 Calibration certificate contents	21
Annex A (normative) Mathematical basis for measurement uncertainty calculations	22
A.1 General	22
A.2 Deviations	22
A.3 Uncertainties type A	22
A.4 Uncertainties type B	23
A.5 Determining the combined standard uncertainty	24
A.6 Reporting	25
Annex B (normative) Calibration uncertainty	26
B.1 General	26
B.2 Wavelength and delay calibration uncertainties	26
B.2.1 Wavelength uncertainties	26

B.2.2	Optical delay calibration uncertainty	26
B.2.3	Effect of dispersion modelling	26
B.3	Uncertainty of a calibration using a reference fibre	27
Annex C (informative)	Uncertainty at operating conditions	28
C.1	General.....	28
C.2	Fibre related uncertainties	28
C.2.1	Axial fibre strain.....	28
C.2.2	Fibre temperature	28
C.2.3	Second order modes.....	29
C.2.4	OH ⁻ absorption	29
C.2.5	Total fibre loss.....	29
C.2.6	Optical reflections.....	29
Annex D (informative)	Chromatic dispersion	30
D.1	Chromatic dispersion in fibres	30
D.2	Description of chromatic dispersion test sets	30
D.3	Measurement techniques	31
D.3.1	General	31
D.3.2	Pulse delay method	31
D.3.3	Phase shift method	32
D.3.4	Differential phase shift method	32
D.4	Fibre chromatic dispersion specifications	32
Bibliography		33
Figure 1	– Example of a traceability chain.....	9
Figure 2	– Typical optical delay line artefact for CD test set delay calibration	17
Figure 3	– Typical differential delay (dispersion) simulator for CD test set calibration	18
Figure 4	– Reference fibre comparison	20
Figure A.1	– Deviation and uncertainty type B and how to replace both by an appropriately larger uncertainty.....	23
Figure D.1	– Schematic diagram of a CD test set.....	31

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**CALIBRATION OF FIBRE OPTIC CHROMATIC
DISPERSION TEST SETS****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.

IEC 61744 has been prepared by IEC technical committee 86: Fibre optics. It is an International Standard.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2005. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) updated terms and definitions;
- b) the use of a reference fibre standard for calibration is now allowed and at the same level as the other calibration method;
- c) Annex B was split into a new Annex B (on calibration uncertainty, still normative) and a new Annex C (on uncertainty at operating conditions, informative);
- d) removed former C.3.4 on interferometric method since this method is no longer supported in IEC 60793-1-42;
- e) removed Annex D and other references in text to calibration compensation to align with other calibration documents;

- f) removed Annex E and other references in text to use of air wavelength since it is not used in the fibre domain.

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

Draft	Report on voting
86/615/FDIS	86/617/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61744:2023

0 Introduction

0.1 Chromatic dispersion in optical fibres

Chromatic dispersion is the variation with optical light wavelength of the light propagation delay time in a length of fibre. This variation can cause bandwidth limitation in the fibre when used to transmit communication signals. For a more detailed explanation, refer to Annex D and IEC 60793-1-42.

0.2 Chromatic dispersion (CD) test sets

CD test sets are used to measure the chromatic dispersion properties of optical fibres and typically comprise an optical source of known wavelength(s), a fibre light input coupling and output coupling means, optical detection means, and electronic or optical means of determining the optical delay or dispersion at the source wavelength. There are several variants each requiring slightly different calibration techniques. Refer to Annex D for further details.

In general, all CD test sets produce an output of fibre delay or dispersion versus the light wavelength, typically in graphical form.

In essence, all CD test sets operate with wavelength as a programmed (independent) variable, usually the abscissa (x-axis) and dispersion or time delay as the ordinate (y-axis) as a measured (dependent) variable. By their nature, fibre chromatic dispersion measurements require multiple wavelengths to be programmed. Even in the case of a single dispersion point obtained using the differential phase shift method, two separate wavelength values are used. It is also typical to expect a wide range of dispersion values over a range of wavelengths to be measured.

0.3 Overview of calibration procedures described in this document

The requirement to calibrate the CD test set, traceable to known standards, is essential for quality control in fibre optic production, fibre research and similar activities. This document describes the detailed procedures used to establish calibration of a CD test set.

Calibration of a CD test set is established by applying known artefacts or standards (themselves calibrated to reference standards) to the CD test set and measuring its response.

Primarily, the artefacts or standards used are as follows.

- a) Wavelength artefact(s) or traceable wavelength measuring instruments used to calibrate the light source wavelength(s) used by the CD test set. This is to establish the correct excitation wavelength for the system (the "x-axis").
- b) Delay or dispersion artefact(s) used to calibrate the delay or dispersion response of the CD test set (the "y-axis").
- c) Traceable chromatic dispersion reference fibre used to calibrate the CD test set. This method allows a simultaneous calibration of the whole CD test set, including the measurement of the delay or dispersion response of the CD test set as a function of wavelength and also the internal data processing part. A proper selection of the type of reference fibre is important, especially for an accurate calibration of the zero dispersion wavelength.

Calibration can only be carried out using these artefacts; the use of a known standard fibre (reference fibre described in c)) whose chromatic dispersion is known is recommended as the fibre forms a stable source of known dispersion and may be used as a simple dispersion artefact.

If it is found that the CD test set measurement results have changed significantly compared to the user requirements (i.e. the test set has drifted by more than the repeatability), then adjustment may be carried out depending on the need.

In this document, the reference medium for wavelength and the velocity of light is assumed to be in vacuum, and hence define the refractive index = 1,000 000 0.

CALIBRATION OF FIBRE OPTIC CHROMATIC DISPERSION TEST SETS

1 Scope

This document provides standard procedures for the calibration of optical fibre chromatic dispersion (CD) test sets.

This document is applicable to all types of CD test sets, with the exception that measurements on multimode optical fibres are excluded.

The purpose of this document is to define a standard procedure for calibrating optical fibre chromatic dispersion (CD) test sets. The detailed calibration steps used vary according to the measurement technique used in the CD test set.

Whilst it is acknowledged that chromatic dispersion also occurs in multimode fibre and this fibre can be measured on many CD test sets, this document will restrict discussion to single mode fibre measurements applications only.

The purpose of the procedures outlined in this document is to focus manufacturers and users of CD test sets toward the reduction of measurement uncertainty in chromatic dispersion determination in optical fibres under all applicable conditions. The procedures apply to calibration laboratories and to the manufacturers or users of CD test sets for the purpose of

- a) calibrating CD test sets, and
- b) evaluating the level of performance of the instrument.

Use of the procedures also allows correct evaluation of CD test set uncertainty, relative and traceable to appropriate (for example, national) standards.

2 Normative references

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

IEC 60050-731, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 731: Optical fibre communication*, available at www.electropedia.org

IEC 62129-1, *Calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments – Part 1: Optical spectrum analyzers*

IEC 62129-2, *Calibration of wavelength/optical frequency measurement instruments – Part 2: Michelson interferometer single wavelength meters*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions contained in IEC 60050-731 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminology databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>

3.1

accredited calibration laboratory

calibration laboratory authorized by the appropriate national standards laboratory to issue calibration certificates with a minimum specified uncertainty that demonstrate traceability to national standards

3.2

adjustment

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

3.3

artefact

device, instrument, or equipment used in the process of calibrating a CD test set for wavelength, delay, or chromatic dispersion

3.4

calibration

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

Note 1 to entry: The result of a calibration permits either the assignment of values of measurands to the indications or the determination of corrections with respect to indications.

Note 2 to entry: A calibration may also determine other metrological properties such as the effect of influence quantities.

Note 3 to entry: The result of a calibration may be recorded in a document, sometimes called a calibration certificate or a calibration report.

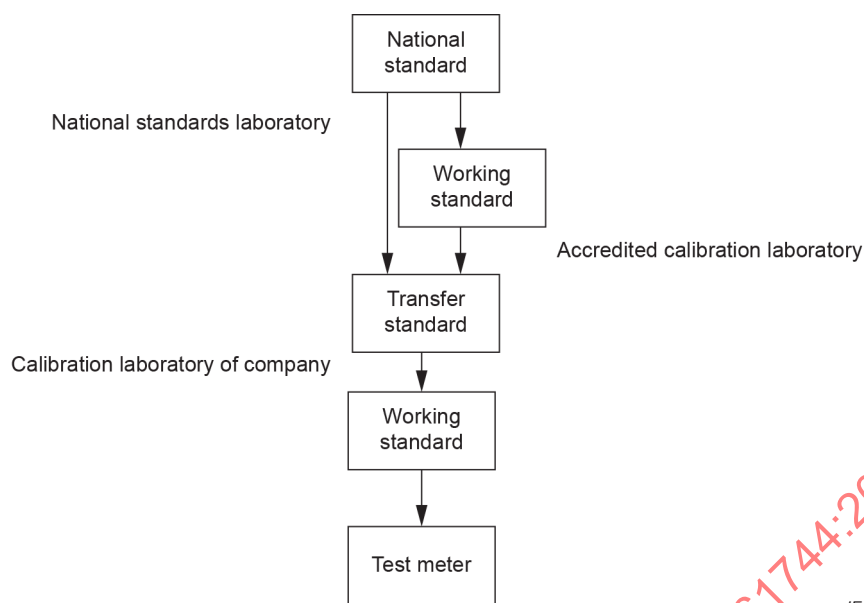
Note 4 to entry: See also ISO/IEC Guide 99:2007, 2.39.

3.5

traceability chain

unbroken chain of comparison using standards

Note 1 to entry: See Figure 1.



IEC

Figure 1 – Example of a traceability chain

3.6

centroidal wavelength

power-weighted mean wavelength of a light source in vacuum

Note 1 to entry: For a continuous source spectrum, the centroidal wavelength λ_c in vacuum is defined by the following integral, where the integration limits enclose the entire spectrum of the source. However, it is usually sufficient to perform the integral or summation over the spectrum where the spectral density $p(\lambda)$ or power P_i is higher than 0,1 % of the maximum spectral density $p(\lambda)$ or power P_i :

$$\lambda_c = (1/P_{\text{total}}) \times \left[\int p(\lambda) \times \lambda \, d\lambda \right] \quad (1)$$

where

$P_{\text{total}} = \int p(\lambda) \, d\lambda$ is the total optical source power.

For a spectrum consisting of i discrete lines, the centroidal wavelength in vacuum λ_c is defined as:

$$\lambda_c = (1/P_{\text{total}}) \times \left[\sum_i p_i \lambda_i \right] \quad (2)$$

where

$p(\lambda)$ is the spectral power spectral density of the source in W/nm;

λ_c is the centroidal wavelength in vacuum in nanometers;

λ_i is the i^{th} discrete line in nm;

p_i is the power levels at λ_i in W;

$P_{\text{total}} = \sum_i p_i$ is the total power in W.

3.7

chromatic dispersion (CD) test sets

instrument capable of measuring the chromatic dispersion of a single mode fibre at various wavelengths in the transmission windows of interest

Note 1 to entry: Windows of interest are typically the 1 310 nm and/or 1 550 nm wavebands.

3.8

correction offset

CO

number that is added to or subtracted from the measurement result of a CD test set to correct for a known physical effect or deviation

3.9

instrument state

complete description of the measurement conditions and state of the CD test set during the calibration process

Note 1 to entry: Typical parameters of the instrument state are the wavelength range in use, the data fit model (as applicable), warm-up time, and other instrument settings.

3.10

measurement result

displayed or electrical output of any CD test set, in

- dispersion D in units of $\text{ps} \times \text{nm}^{-1} \times \text{km}^{-1}$,
- lambda zero λ_0 in units of nm,
- zero dispersion slope S_0 in units of $\text{ps} \times \text{nm}^{-2} \times \text{km}^{-1}$,

after completing all actions suggested by the operating instructions, for example warm-up

3.11

national standard

standard recognized by a national decision to serve in a country as the basis for assigning values to other standards of the quantity concerned

Note 1 to entry: For more information, see ISO/IEC Guide 99:2007, 5.3.

3.12

national standards laboratory

national metrology institute

laboratory which maintains the national standard

3.13

operating conditions

appropriate set of specified ranges of values of influence quantities usually wider than the reference conditions for which the uncertainties of a measuring instrument are specified

3.14

reference standard

standard, generally having the highest metrological quality available at a given location or in a given organization, from which measurements made therein are derived

Note 1 to entry: For more information, see ISO/IEC Guide 99:2007, 5.6.

3.15**scaling factor****SF**

ratio of known standard values for a standard artefact to the values indicated by the CD test set when no correction offsets are applied

Note 1 to entry: The factors can apply to wavelength, delay (dispersion) calibration, as well as to recorded zero dispersion wavelength, slope and actual dispersion data values when using a calibrated reference fibre.

3.16**spectral bandwidth*****B*****full-width at half-maximum (FWHM) of the source spectrum**

Note 1 to entry: If the source is a laser diode with a multiple-longitudinal mode spectrum, then the FWHM spectral bandwidth *B* is the RMS spectral bandwidth, multiplied by 2,35 (assuming the source has a Gaussian envelope):

$$B = 2,35 \times \left[\left(\frac{1}{P_{\text{total}}} \right) \times \left(\sum_i p_i \lambda_i^2 \right) - \lambda_c^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

where

λ_c is the centroidal wavelength (see 3.6) of the laser diode, in nm;

$P_{\text{total}} = \sum_i p_i$ is the total power, in W;

p_i is the power of i^{th} longitudinal mode, in W;

λ_i is the vacuum wavelength of i^{th} longitudinal mode, in nm.

3.17**traceability**

property of the result of a measurement or the value of a standard whereby it can be related to stated references, usually national or international standards, through an unbroken chain of comparisons all having stated uncertainties

Note 1 to entry: For more information, see ISO/IEC Guide 99:2007, 2.41.

3.18**transfer standard****reference standard**

standard, generally having the highest metrological quality available at a given location or in a given organization, from which measurements made therein are derived, and used to calibrate working standards

3.19**working standard**

standard that is used routinely to calibrate measuring instruments

Note 1 to entry: A working standard is usually calibrated against a transfer standard (3.18).

Note 2 to entry: For more information, see ISO/IEC Guide 99:2007, 5.7.

4 Calibration**4.1 General**

Clause 4 summarizes the action of calibrating a chromatic dispersion (CD) test set and details the recommendations for the environmental requirements of the calibration facility.

4.2 Preparation for calibration

4.2.1 General advice and organization

The accreditation calibration laboratory should ensure that suitable requirements for calibration are followed.

NOTE Guidance about good practices for calibration are in ISO/IEC 17025 [1]¹.

There should be a documented measurement procedure for each type of calibration performed, giving step-by-step operating instructions and equipment to be used.

4.2.2 Environmental conditions requirements

The following requirements shall be observed:

- a) all tests shall be performed at an ambient temperature of $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ (or tighter);
- b) the CD test set, test apparatus and equipment shall be given sufficient time to reach thermal equilibrium with the environment in accordance with the manufacturer's recommendations for each item of equipment, before commencement of any part of the calibration procedure;
- c) the instrument state of the CD test set and test equipment shall be recorded, a precondition for reproducible measurements;
- d) connectors and optical input ports, etc. should always be cleaned before measurement.

If the current calibration conditions are different from those of the calibration standards, make sure that the calibration standards remain traceable with the required level of uncertainty.

4.2.3 Measurement equipment requirements

Calibration of test equipment with traceability described in 4.2.4 is mandatory. The tests described require the use of some or all of the following:

- a) a variable optical attenuator;
- b) a wavelength measuring device (an optical spectrum analyzer calibrated according to IEC 62129-1 or wavelength meter calibrated according to IEC 62129-2) for discrete wavelength sources such as lasers;
- c) a wavelength standard (for example, He-Ne laser or other wavelength standard) for tuneable monochromator-based systems;
- d) an optical delay line artefact (differential optical delay line artefact) for delay (dispersion) calibration;
- e) a calibrated chromatic dispersion reference fibre.

4.2.4 Traceability

Ensure that all test equipment which has significance to the calibration result has been calibrated in an unbroken traceability chain to the appropriate national standard. The recalibration period(s) shall be defined and documented. The details of traceability for this test equipment shall be made available on request (see Clause 7).

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

4.3 Calibration procedure

The calibration methods for all types of CD test sets calibrate either

- a) the source wavelength(s), and the delay (dispersion) response of the set separately, which allows determining relevant correction offset and/or scaling factors for both quantities separately, or
- b) the full test set in a single measurement, using a calibrated chromatic dispersion reference fibre, which allows determining relevant offsets for chromatic dispersion, dispersion slope and zero dispersion wavelength.

In case a), the user shall first ascertain which type of light source(s) (for example lasers or LED/filter/ monochromator) is in use and which measurement technique is in use in the CD test set.

Some CD test sets can perform more than one measurement technique, in which case it would be necessary to separately calibrate the CD test set for all measurement techniques in use, under the auspices of this document.

For each CD test set calibration, the procedure consists of the following.

- a) Use the procedure appropriate to the CD test set measurement method for
 - 1) calibration of the wavelength parameter (see 5.1):
 - i) for discrete wavelength source systems, use the procedure of 5.1.2;
 - ii) for continuously tuneable source systems, use the procedure of 5.1.3.
 - 2) Use equipment appropriate to the CD test set measurement method; calibrate the delay parameter using the procedure of 5.2.3.
- b) Or, instead of the procedures in a), only calibrate the chromatic dispersion using the procedure of Clause 6.
- c) Report and record on a certificate the calibration results according to Clause 7. The CD test set is now fully calibrated to national standards with the specified uncertainty.

5 Wavelength and delay calibration procedure

5.1 Wavelength calibration procedure

5.1.1 General

5.1 describes procedures for calibration of wavelength in CD test sets. The technical principle is to apply calibrated wavelength artefacts such as external sources, optical transmission elements or other artefacts to determine the centroidal wavelength(s) used in the CD test set for dispersion measurement. The actual wavelengths used may then be adjusted. The process of calibration differs according to the light source used in the CD test set under consideration. For sets using lasers or other discrete wavelength sources, see 5.1.2; for continuously variable (tuneable) sources, see 5.1.3. In either case, see 5.1.4 to report the calibration results.

5.1.2 Discrete sources

Many CD test sets use discrete laser diodes or discrete filtered LED/lamp sources, and the procedure below shall be used to calibrate the wavelength. Any additional measurement apparatus, artefact or equipment used in this calibration procedure shall be prior calibrated to traceable standards. In these instruments, the following procedure shall be used.

- a) Establish that the test equipment requirements have been met (see 4.2.3).
- b) Establish that the test environmental conditions have been met (see 4.2.2).
- c) Set up the CD test set instrument state to the appropriate settings for calibration procedures (see 4.2.2).

- d) Refer to Annex B to consider the effects and technical origins of uncertainty sources.
- e) For each discrete source, measure the wavelength using one of the following items, first ensuring that it is itself calibrated:
 - 1) an optical spectrum analyzer;
 - 2) a wavelength meter;
- f) For each discrete source, measure the centroidal wavelength λ_c and the spectral bandwidth B (as defined in 3.6 and 3.16 respectively).
- g) The possibility of wavelength shift under different conditions of source modulation (chirp) shall be considered. Evaluation of the individual uncertainties of the source wavelengths shall also be carried out. The wavelength uncertainty may vary with the actual wavelength (region) used, so that in the subsequent evaluation of dispersion uncertainties, the correct uncertainty value(s) shall be used. Use the centroidal wavelength λ_c and spectral bandwidth B for subsequent calculation of the time delay and or dispersion curve. Suitable wavelength uncertainty fitting techniques are described in IEC 62129-1.
- h) The calibrated wavelengths of the source(s) chosen shall be used in the calculation of the monochromator tuning relation (calibration curve).

5.1.3 Tuneable sources

5.1.3.1 General

For CD test sets employing continuously variable (tuneable) sources, the wavelength calibration involves determining the wavelength calibration of the monochromator used for wavelength selection over the wavelength range of the CD test set. This may be accomplished in one of three ways (see 5.1.3.2, 5.1.3.3, 5.1.3.4), or a combination of these as detailed below. All and any additional apparatus, artefacts or equipment used in these calibration procedures shall be calibrated to traceable standards.

In all cases of standard sources and filters, the spectral bandwidth should be 5 nm or less FWHM. Similarly, the spectral resolution of wavelength measurement apparatus should be commensurate with the wavelength uncertainty required.

5.1.3.2 Method A

This method uses a sufficient number of external sources of known optical wavelengths (or set of wavelengths) at the input to the monochromator.

- a) Each known external light source shall be calibrated, stable and of well-defined wavelength and of discrete line character. The monochromator calibration may be referenced to a fundamental physical phenomenon by deriving the test wavelengths from classical sources of discrete wavelengths. These could take the form of a 633 nm He-Ne laser, argon laser, mercury lamp, etc. to which the monochromator within the CD test set may be tuned using various diffraction orders. The intention is to obtain a sufficient number of calibration points for the monochromator drive to fully cover the wavelength range of the CD test set (see IEC 62129-1). It is also possible to obtain calibration points by using a suitable (broadband) source and known calibrated monochromator. The spectral width of the sources, in any case, should be less than 5 nm (see 5.1.4).
- b) Ensure that the optical path of the calibration artefact exactly replicates the normal operating conditions in the CD test set. It is important to assess the uncertainties due to variations in the optical alignment between calibration and normal use of the CD test set.
- c) Establish that the test equipment requirements have been met (see 4.2.3).
- d) Establish that the test environmental conditions have been met (see 4.2.2).
- e) Set up the CD test set instrument state to the appropriate settings for calibration procedures (see 4.2.2).
- f) Refer to Annex B to consider the effects and technical origins of uncertainty sources.

- g) For each source wavelength or diffraction order setting, the centroidal wavelength λ_c and spectral bandwidth B (see 3.6 and 3.16) shall be measured.
- h) Evaluation of the individual uncertainties of the source wavelength(s) and the overall uncertainty of wavelength when the tuning relation has been calculated shall be carried out. The wavelength uncertainty may vary with the actual wavelength (region) used, so that in the subsequent evaluation of dispersion uncertainties, the correct uncertainty value(s) shall be used. Suitable wavelength uncertainty fitting techniques are described in IEC 62129-1.
- i) The calibrated wavelengths of the source(s) chosen shall be used in the calculation of the monochromator tuning relation (calibration curve).

5.1.3.3 Method B

This method inserts calibration artefacts, such as an etalon or a sufficient number of optical filters, of known centroidal wavelength(s) in the optical path of the CD test set, typically in place of the test fibre itself. In this case, the complete CD test set is in use during the calibration procedure.

- a) It is possible to obtain several calibration points at or near the usual 1 310 nm and 1 550 nm wavebands using a multiple wavelength standard to reduce wavelength non-linearity or monochromator sine bar uncertainties. This document may take the form of bandpass filters or etalons of calibrated centroidal wavelengths placed in line with the CD source monochromator and detector. A sufficient number of wavelengths shall be used. The monochromator and/or filter/etalon spectral resolution shall be sufficient to resolve the calibration points with the required uncertainty.
- b) Ensure that the optical path of the calibration artefact exactly replicates the normal operating conditions in the CD test set. It is important to assess the uncertainties due to variations in the optical alignment between calibration and normal use of the CD test set.
- c) Establish that the test equipment requirements have been met (see 4.2.3).
- d) Establish that the test environmental conditions have been met (see 4.2.2).
- e) Set up the CD test set instrument state to the appropriate settings for calibration procedures (see 4.2.2).
- f) Refer to Annex B to consider the effects and technical origins of uncertainty sources.
- g) Using each of the sources/filters in turn enables a detailed monochromator drive calibration curve to be fitted to the data points.
- h) A sufficient number of filter/source wavelengths shall be used and may be chosen to lie within the usual 1 310/1 550 nm wavebands.
- i) It is important to assess the effect of launch conditions (for example, filter tilt angle) for each artefact used.
- j) For each wavelength used, the centroidal wavelength λ_c and spectral bandwidth B shall be measured as defined in 3.6 and 3.16, respectively.
- k) Evaluation of the individual uncertainties of the artefact wavelength and the overall uncertainty of wavelength when the tuning relation has been calculated shall be carried out. The wavelength uncertainty may vary with the actual wavelength (region) used, so that in the subsequent evaluation of dispersion uncertainties, the correct uncertainty value(s) shall be used. Suitable wavelength uncertainty fitting techniques are described in IEC 62129-1.
- l) The calibrated wavelengths of the source(s) chosen shall be used in the calculation of the monochromator tuning relation (calibration curve).

5.1.3.4 Method C

This method measures the wavelength emanating from the monochromator using an instrument, for example an optical spectrum analyzer, a wavelength meter, or a monochromator-based detection system.

The spectral width of the monochromator is typically less than 5 nm (see 5.1.4), and sufficient spectral resolution within the CD test set shall be ensured.

- a) For various agreed wavelength settings of the CD test set monochromator, perform a measurement of the wavelength emanating from the CD test set monochromator using an optical spectrum analyzer, wavelength meter or monochromator-based detection system.
- b) Ensure that the optical path of the calibration artefact exactly replicates the normal operating conditions in the CD test set. It is important to assess the uncertainties due to variations in the optical alignment between calibration and normal use of the CD test set.
- c) Establish that the test equipment requirements have been met (see 4.2.3).
- d) Establish that the test environmental conditions have been met (see 4.2.2).
- e) Set up the CD test set instrument state to the appropriate settings for calibration procedures (see 4.2.2).
- f) Refer to Annex B to consider the effects and technical origins of uncertainty sources.
- g) It is important to assess the uncertainty due to launch conditions in the wavelength meter each time light is presented to it.
- h) For each wavelength used, the centroidal wavelength λ_c and spectral bandwidth B of the CD test set light shall be measured as defined in 3.6 and 3.16, respectively.
- i) The centroidal wavelengths and spectral widths shall be the values used for evaluation of the monochromator tuning relation (calibration curve).
- j) Evaluation of the individual uncertainty of wavelength when the tuning relation has been calculated shall be carried out. The wavelength uncertainty may vary with the actual wavelength (region) used, so that in the subsequent evaluation of dispersion uncertainties, the correct uncertainty value(s) shall be used. Suitable wavelength uncertainty fitting techniques are described in IEC 62129-1.
- k) The calibrated wavelengths of the source(s) chosen shall be used in the calculation of the monochromator tuning relation (calibration curve).

5.1.4 Uncertainties and reporting

The finite spectral width of the light source used in a CD test set affects the uncertainty of the dispersion measurements since dispersion varies with wavelength.

To reduce uncertainties, the centroidal wavelengths of the source shall be evaluated using Formula (1), and not just taking the maximum power wavelength or the centre wavelength of the monochromator window. This is particularly true when using broadband sources (for example LEDs) which have a near Gaussian spectral shape with a monochromator. In this case, the light spectrum after the monochromator generally has an asymmetrical spectral shape, leading to a centroidal wavelength of the light not at the centre of the monochromator window.

In practice, when measuring ordinary fibres, the effect of referring just to the monochromator centroidal wavelength is almost negligible for spectral widths below 5 nm, with LEDs having at least 50 nm FWHM spectral width (the induced error in the measured fibre zero dispersion wavelength and zero dispersion slope is below 1 nm and 1 %, respectively in this case). Beyond these limits, a correct evaluation of the centroidal wavelength of the source used is required (this can typically be obtained, using method C (5.1.3.4) for the CD test set wavelength calibration).

The residual effects of the source finite spectral width depend on the delay detection system and should be evaluated for the CD test type in use. When using method A (5.1.3.2) and method B (5.1.3.3) for wavelength calibration, it is desirable to maintain spectral reference source spectral width at less than 5 nm. In any case, it is essential to ensure that no significant spectral lobes or stray light occur.

Refer to Annex A and Annex B for more discussion on handling uncertainties and sources of uncertainty pertaining to wavelength calibration, respectively.

Refer to Clause 7 for details of calibration results reporting.

5.2 Delay (dispersion) calibration procedure

5.2.1 General

5.2.1 describes procedures for calibration of delay (dispersion) in CD test sets. The procedure is described in 5.2.3, and reporting in 5.2.4.

5.2.2 Equipment and preparation

5.2.2.1 General

5.2.2 describes the delay (dispersion) artefacts and their use.

In order to characterize the optical propagation delay (dispersion) response of a complete CD system, it is necessary to simulate the fibre delay (dispersion) using a calibrated optical set-up. This is because the delay changes over the wavelength range involved are too small to be established electronically with sufficient accuracy.

The principle is to use a variable optical delay line artefact formed by a moving mirror or corner cube (Figure 2 and Figure 3) placed in line with the CD test set optical system.

NOTE Differential phase shift CD test sets employing the wavelength modulation method (refer to Annex D) are calibrated using a dispersion "simulator" (for example Figure 3, consisting of a fixed optical delay line and a variable optical delay line each alternately selected by a chopper synchronized to the wavelength modulation clock signal). The differential delay between the two optical arms simulates the chromatic dispersion of a fibre.

All other CD test sets use a simple delay line, as shown in Figure 2, which simulates the delay time in the fibre.

In the artefact, a displacement of the corner cube by an amount x results in an optical delay (dispersion) change of $2x/c$ s, where c is the velocity of light in vacuum. A corresponding pulse delay, phase shift, interference fringe position shift, or differential phase shift (i.e. dispersion) results, which is observed by the CD test set. By repeating the measurements for each mirror/prism position used, this allows for a curve of measured delay (dispersion) versus true delay time to be built up for the CD test set.

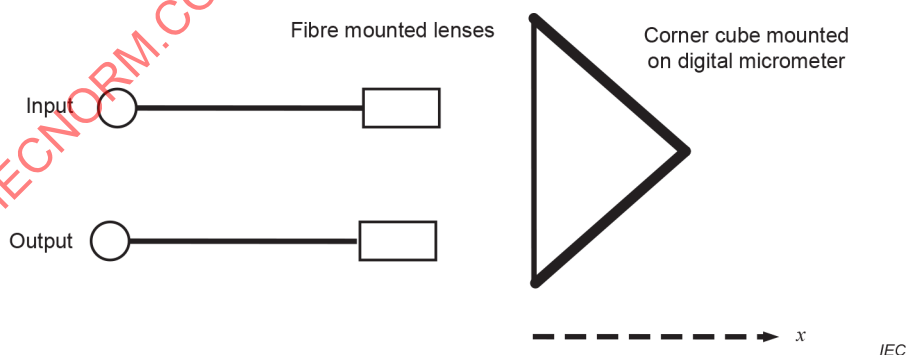


Figure 2 – Typical optical delay line artefact for CD test set delay calibration

The optical delay line technique is traceable to national standards since c is wavelength independent, while the linear motion calibration of the mirror/prism is calibrated via a chain traceable to national standards.

The optical delay line artefact (Figure 2 and Figure 3) shall be at least long enough to cover the full range of relative delay (dispersion) values encountered in the test fibre lengths used by the test set. The linear motion resolution shall be at a level commensurate with the required uncertainty.

For pulse delay test sets, the delay line artefact (Figure 2) shall be used several times with different delay values at the origin, i.e. by adding various lengths of fibre up to the expected maximum length. This is in order to ensure that the entire delay response is linear with the same scale uncertainty for typical absolute and relative delay values encountered in normal fibre tests.

For phase shift CD test sets, the delay line artefact (Figure 2) shall have sufficient range to cover an entire phase cycle (2π) of the RF modulation frequency and shall be used several times with different phase conditions at the origin, spaced over the entire phase cycle (2π) of the RF modulation frequency. This is in order to ensure that the entire delay response is linear with the same scale uncertainty for all possible delay and phase conditions.

Dispersion response for differential phase shift systems is calibrated using the optical delay line principle. The method used differs slightly for the type of differential phase shift method used in the CD test set.

-

Figure 3 – Typical differential delay (dispersion) simulator for CD test set calibration

The calibration procedure below should be performed at several optical power levels, obtained using an optical attenuator, to ensure that signal level dependent effects are considered. This ensures that variations of fibre loss or coupling efficiency are represented.

- Establish that the test equipment requirements have been met (see 4.2.3).
- Establish that the test environmental conditions have been met (see 4.2.2).
- Set up the CD test set instrument state to the appropriate settings for calibration procedures (see 4.2.2).

- d) Refer to Annex B to consider the effects and technical origins of uncertainty sources – all uncertainties (including for example, temperature, ageing, etc.) associated with the delay (dispersion) artefacts shall be considered.
- e) Select a specific operating wavelength for the calibration (for example, 1 310 nm).
- f) Set the delay line (see Figure 2 or Figure 3) with the mirror/prism at one end (for example, the origin) and configure the CD test set to measure the total optical delay, phase shift, interference fringe shift or differential phase shift for this optical system.
- g) Move the mirror/prism along in evenly spaced steps and measure the delay, phase shift, interference fringe shift or differential phase shift at each step. In order to reduce the effect of noise, these measurements shall be performed with sufficient data averaging. A sufficient number of delay line steps shall be used. Successive mirror positions x give rise to a delay equal to $2x/c$, and an equivalent phase shift or differential phase shift change. If applicable, convert the phase shift into delay (differential phase shift into differential delay). The completed set of measurements should lie on a straight line of delay (differential delay), phase shift, interference fringe shift or differential phase shift versus mirror position x with a slope of $2/c$.
- h) Use a least-squares linear regression to obtain the best fitted line.
- i) The slope, sl , and intercept (correction offset, CO) of the fit should be evaluated using normal data fitting methods and these values recorded. The scaling factor SF_{del} for delay (differential delay) is defined as

$$SF_{del} = [sl \times c/2] \quad (4)$$

Any visible non-linearity (or excessively large data fit residuals) and noise represent potential sources of uncertainty. The delay (differential delay) scaling factor SF_{del} may be used to make adjustments to the CD test set. The above procedure may be repeated several times to establish a more precise (average) scale uncertainty value. Estimation of the average delay (differential delay) scaling factor SF_{del} , zero offset and other uncertainties shall be carried out (see Clause 7 and Annex A).

5.2.4 Uncertainties and reporting

Refer to Annex A and Annex B for discussion on handling uncertainties and sources of uncertainty pertaining to delay (dispersion) calibration, respectively.

Refer to Clause 7 for details of calibration results reporting.

6 Calibration using a reference fibre

6.1 General

Clause 6 describes the detailed calibration procedure for any kind of CD test, set using a chromatic dispersion reference fibre. This procedure allows calibrating the test set without having to address the wavelength and dispersion measurements independently. This is important for many instruments, which do not give access to these two quantities separately. The calibration with a reference fibre also allows evaluating at the same time the performance of the data processing and of the curve fitting process which is implemented in the test set. The selection criteria for the reference fibre and for the calibration procedure are given in 6.2 and 6.3. Figure 4 describes the calibration process of comparing CD test sets using a reference fibre.

6.2 Equipment and preparation

Following points should be considered when selecting a reference fibre.

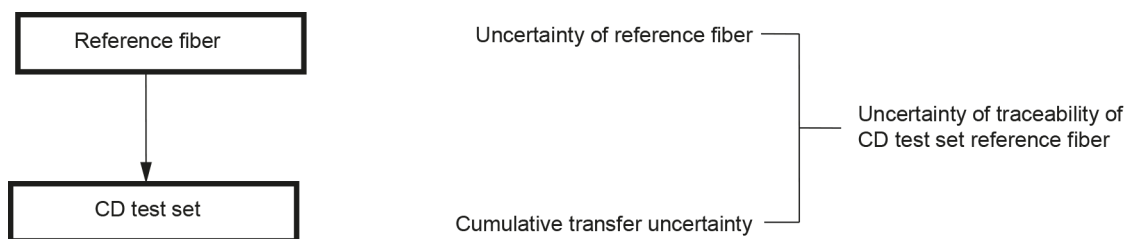
- The reference fibre shall be calibrated by a national standards laboratory, at a level of uncertainty compatible with the expected performances of the instrument to be calibrated.
- The chromatic dispersion, the zero dispersion wavelength, the dispersion slope and the optical length (transit time of a light pulse propagating through the fibre) of the reference fibre shall be calibrated.
- Ideally, the reference fibre should have a zero dispersion wavelength located within the wavelength range of the test set to be calibrated.
- The reference fibre shall have low or moderate attenuation levels.
- The reference fibre shall have good longitudinal homogeneity and "typical" properties for the fibre type (see Annex D) such as mode field diameter, dispersion etc.
- The reference fibre should be longer than the minimum measurable length for the CD test set, i.e. > 1 km but significantly less than the maximum length, for example < 25 km, in order that dispersion measurement repeatability is nearly optimum.
- The reference fibre should be adequately protected from environmental factors such as temperature changes and bending effects and may optionally be placed within an environmentally controlled enclosure.
- The reference fibre should be preferably equipped with low reflection (angled) connectors.

NOTE More than one fibre of a given type, or more than one type of fibre can be used.

6.3 Procedure

Perform calibration using the following procedure (refer to Figure 4).

- Establish that the test equipment requirements have been met (see 4.2.3).
- Establish that the test environmental conditions have been met (see 4.2.2).
- Set up the CD test set instrument state to the appropriate settings for calibration procedures (see 4.2.2).
- Refer to Annex B to consider the effects and technical origins of uncertainty sources.
- Present the reference (standard) fibre to the CD test set under consideration. Use the reference fibre standard length value and any length corrections.
- Determine zero dispersion wavelength λ_0 and slope S_0 of the fibre using the appropriate data fit and wavelength range and determine the deviation. If necessary, repeat the measurement several times to average out uncertainties type A.
- Also compare the dispersion values and the residuals of the data fit (if used) for any abnormality. It is necessary to evaluate the uncertainty of the reference fibre values and then to evaluate the successive (cumulative) transfer uncertainty (see Figure 4).



IEC

Figure 4 – Reference fibre comparison

6.4 Uncertainties and reporting

Refer to Annex A and Annex B for discussion on handling uncertainties and sources of uncertainty pertaining to calibration respectively.

Refer to Clause 7 for details of calibration results reporting.

7 Documentation

7.1 General

All CD test sets referring to this document shall have their calibration reported as outlined in 7.2. All uncertainty statements shall be made on the mathematical basis of Annex A.

7.2 Calibration certificate contents

The calibration uncertainties of a single CD test set shall be documented in a calibration certificate in order to claim compliance with this document. The uncertainties shall be stated in the form of expanded uncertainties, i.e. by multiplying the relevant standard uncertainty by the coverage factor, k .

The calibration certificate should include the following:

- a) all transfer environmental conditions (see Clause 4) of the CD test set under test;
- b) the calibration offset(s) and scaling factor(s) shall be reported. Report where applicable, the applicable calibration offsets and scaling factors for fibre lambda zero, slope and dispersion/delay, and applicable wavelength ranges;
- c) the instrument state of the CD test set during the calibration procedure, the most important parameters being calibration date, CD test set serial number or other identification, test wavelength(s) used, fibre type(s), instrument settings, averaging time/speed, data fitting model, test set mode of operation and serial numbers of any artefacts used;
- d) the calibration date;
- e) evidence that the measurements are traceable (see ISO/IEC 17025);
- f) signature of a qualified person assigned and authorized to supervise calibration activities;
- g) statement of procedure and detail of all significant equipment or artefacts used (for example, type of artefact, identification, operating principle, etc.).

Annex A (normative)

Mathematical basis for measurement uncertainty calculations

A.1 General

A major part of the effort in calibration goes into evaluating uncertainties. Annex A shows how to evaluate, combine, and report measurement uncertainties.

The following is based on ISO/IEC Guide 98-3. Annex A distinguishes two types of uncertainties of the measured deviations (see Clause A.2): uncertainties type A, which are obtained from a series of measurements on the same measurand, and uncertainties type B, which are obtained from other knowledge. Each of these may be caused by a number of influencing quantities.

A.2 Deviations

A deviation characterizes a known error of a measurement result. It should be noted that the term "error" is equivalent to "deviation".

It is useful to distinguish between measurement results in linear form, for example wavelength or per cent, and measurement results in logarithmic form, for example optical power in dBm. In both cases, the deviation or error Δy quantifies the difference between an actual measurement result y_{actual} and the "true" value of the measured quantity y_{ref} .

$$\Delta y = y_{\text{actual}} - y_{\text{ref}} \quad (\text{A.1})$$

A correction is possible by subtracting the deviation from the measurement result.

A.3 Uncertainties type A

Randomly changing measurement results should be characterized by an uncertainty type A. A normal (Gaussian) distribution of measurement samples is usually assumed. It is recommended to keep these uncertainties as small as possible by averaging a number of measurement samples. In order to save time in the calibration of an individual test set from a series of identical test sets, it is suggested that each random (type A) uncertainty be evaluated in two steps.

As the first step, determine the experimental standard deviation $s_{\text{type A}}$ of a typical measurement situation from a large number of measurements, m . The centre of the distribution is assumed to coincide with zero, i.e. the reference standard value. All random (type A) uncertainties shall be reported as relative uncertainties of the CD test set response.

The experimental standard deviation, characterizing an uncertainty type A, is approximately:

$$s_{\text{type A}} = \left[\frac{1}{m-1} \cdot \sum_m (y_i - y_{\text{mean}})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A.2})$$

where

y_i is the measurement sample of a series of measurements of the dispersion;

y_{mean} is the mean value of the data dispersion;

m is the number of characterizing measurements in determining the standard deviation with m assumed to be large, for example > 30 .

As the second step, determine the standard uncertainty of the individual case $u_{\text{type A}}$ from a smaller number of measurements n . Often $n = 1$ in order to save measurement time. The result is the standard uncertainty type A:

$$u_{\text{type A}} = s_{\text{type A}} / \sqrt{n} \quad (\text{A.3})$$

where $u_{\text{type A}}$ expresses the uncertainty of the mean, which assumes averaging of the n measurement samples. Note that the two steps may be gathered into a single step, by making $m = n$. Additional statistical techniques, for example t-statistics may be required.

A.4 Uncertainties type B

An uncertainty type B usually quantifies an unknown fixed offset between a measurement result and the "true" value of a measured quantity. These uncertainties can be described by the width of an uncertainty band, as illustrated in Figure A.1. A uniform (rectangular) distribution of measurement results is assumed.

This document suggests specifying the half-width $U_{\text{type B}}$ of the band of relative uncertainties. The uncertainty band can be calculated by multiplying the tolerance band of the influencing condition, for example of the temperature, with the test set's worst-case dependence on this condition. These calculations should be based on known physical relations, manufacturer's specifications, data provided in calibration certificates or on a sufficiently large number of characterizing measurements of the same type of test set. Uncertainties type A in these measurements shall be kept as small as possible, for example by averaging.

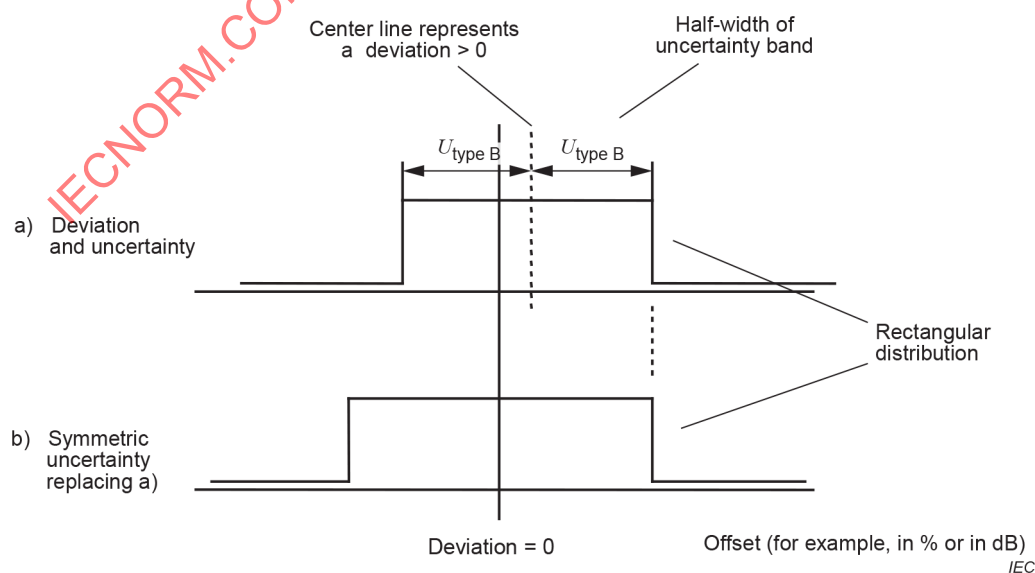


Figure A.1 – Deviation and uncertainty type B and how to replace both by an appropriately larger uncertainty

As illustrated in Figure A.1, it is possible to omit the deviation by specifying a wider and symmetrical uncertainty band.

The expanded uncertainty can then alternatively be expressed by an equivalent uncertainty $U_{\text{type B}}$ obtained from the half-width of the parameter's tolerance band depicted in Figure A.1 b).

Standard uncertainty type B (calculated):

$$u_{\text{type B}} = U_{\text{type B}} / \sqrt{3} \quad (\text{A.4})$$

A.5 Determining the combined standard uncertainty

The "combined standard uncertainty" is used to collect a number, i , of individual uncertainties into a single number. The combined standard uncertainty is based on statistical independence of the individual uncertainties; this leads to a root-sum-square of their standard deviations. In accordance with ISO/IEC Guide 98-3, the following formulae shall determine the cumulative deviation, combined standard uncertainty, and combined expanded uncertainty.

- Cumulative deviation (error):

$$\Delta Y = \sum \Delta y_i \quad (\text{A.5})$$

- Combined standard uncertainty:

$$u_c = \left[\sum_i (u_{\text{type B},i})^2 + \sum_j (u_{\text{type A},j})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A.6})$$

where

$u_{\text{type B},i}$ is the (calculated) standard uncertainty representing systematic (type B) uncertainty, one of i ;

$u_{\text{type A},j}$ is the standard uncertainty characterizing a random (type A) uncertainty, one of j ;

i is the number of uncertainties type B;

j is the number of uncertainties type A.

NOTE The first part of Formula (A.6) collects all uncertainties type B, and the second part collects all uncertainties type A. It is acceptable to neglect uncertainty contributions to this equation which are smaller than 1/10 of the largest contribution, because squaring them will reduce their significance to 1/100 of the largest contribution.

- Combined expanded uncertainty:

$$U = \pm u_c \times k \quad (\text{A.7})$$

where

k is the coverage factor.

In the majority of measurements, it is possible to evaluate type B uncertainties with high reliability. Further, if the procedure followed for making the measurements is well established and the type A evaluations are obtained from a sufficient number of observations, then the use of a coverage factor $k = 2$ will mean that the combined expanded uncertainty, U , will provide an interval with a level of confidence of 95 %; for $k = 3$, this would be 99,7 %.

A.6 Reporting

In calibration reports and technical data sheets, combined standard uncertainties in the CD test set output shall be reported in the form of expanded uncertainties, together with the applicable confidence level. The default confidence level is 95 %. Measured deviations shall also be reported in calibration reports or calibration certificates.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61744:2023

Annex B (normative)

Calibration uncertainty

B.1 General

Annex B describes potential uncertainty sources to help evaluating the absolute uncertainties of all standards in the calibration chain for the CD test set as outlined in Clauses 5 and 6. The compilation of uncertainty sources is by no means exhaustive.

B.2 Wavelength and delay calibration uncertainties

B.2.1 Wavelength uncertainties

- Discrete light sources (lasers)

A major source of uncertainty arises from the calibration of the optical spectrum analyzer (or similar instrument) used to calibrate the system. The instrument shall be calibrated to a known uncertainty with respect to a recognized standard; this uncertainty will convert to systematic uncertainty, dependent on the fibre dispersion. The effects of laser spectral distribution and centroidal wavelength stability/shift shall also be considered.

- Tuneable (programmable) light sources

Uncertainty arises from the uncertainty of the reference wavelength instrument used to calibrate the sources and the wavelength stability of the sources.

B.2.2 Optical delay calibration uncertainty

The optical delay line uncertainty as well as the delay measurement repeatability shall be considered.

B.2.3 Effect of dispersion modelling

The use of an accurate data fit is paramount and is a potential source of error. For the pulse delay and phase shift methods, λ_0, S_0 and estimated dispersion are obtained from the derivative of a functional fit to the group delay measurement data. Many empirical models exist, for example 3-term Sellmeier, 5-term polynomial. For the differential phase shift method, dispersion measurements at the measurement wavelengths may be obtained directly without recourse to these fitting functions. However, in order to obtain λ_0, S_0 and the dispersion at wavelengths of interest other than those used for measurements, the measured dispersion values shall be fitted to the derivative of the corresponding mathematical function that would be used for the pulse delay and phase shift methods.

Several rules shall be applied when using data fits.

- a) The data fit/model should be appropriate for the fibre under test (see Clause D.4), for example 3-term Sellmeier suits unshifted fibre.
- b) The data fit should be used over a sufficiently narrow wavelength range such that the data fit selected is known to be accurate. This may be determined by standard "goodness of fit" tests on the data fitting results.
- c) The wavelength range selected, and number and position of points have a bearing on the final data fit results. It is therefore paramount to perform the dispersion comparison (Clause 6) on reference fibre(s) using identical parameters on the CD test sets involved.

In the differential phase shift method, the linear approximation used causes an additional uncertainty; however in practice, at sufficiently small values of $\Delta\lambda$ (see D.3.4), the uncertainty is for all intents and purposes negligible but nevertheless may be mathematically corrected to zero for all fibre types whenever a dispersion data fit is used.

To minimize this uncertainty, calibration using a reference fibre is recommended.

B.3 Uncertainty of a calibration using a reference fibre

When calibrating the test set using a reference fibre, the following uncertainties shall be considered:

- dispersion uncertainty of the reference fibre;
- temperature dependence of the dispersion of the reference fibre;
- test set temperature dependence;
- type A uncertainty of the calibration (repeatability).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61744:2023

Annex C (informative)

Uncertainty at operating conditions

C.1 General

Annex C describes potential uncertainty sources when using the chromatic dispersion test set over its operating range.

C.2 Fibre related uncertainties

C.2.1 Axial fibre strain

Axial strain in a fibre (for example wound tightly on a drum) may cause significant delay changes, perhaps as a result of thermal expansion of the drum or fibre lay duct. The strain results in a physical length change ΔL and group index change Δn . To first order, $dn/d\lambda$ (the dispersion) is unaffected. However, if the strain were to vary during measurements, for example drum temperature changes or drift, significant delay uncertainty can be obtained because delay points are obtained sequentially. It is therefore necessary to minimize changes in the fibre temperature or fibre strain for the duration of the delay measurements and for all calibration work and for all actual test work if CD test set calibration is to be guaranteed. The levels of strain change tolerable depend on the measurement method used. Also, depending on the measurement duration and type of measurement method, it may be necessary to adopt special measures to stabilize fibre temperature and other environmental conditions beyond that stipulated in 4.2.2.

C.2.2 Fibre temperature

In the case of fibre temperature, several effects apply.

- a) The natural thermal expansion of fibre will result in optical delay variation, both as a physical length change and group index change. It is therefore necessary to minimize change in the fibre temperature as described above. A typical value of $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ change over the measurement period would result in $0,1\text{ ps} \times \text{nm}^{-1} \times \text{km}^{-1}$ uncertainty. Again, depending on measurement time and method, special measures as described in C.2.1 may be required to stabilize the fibre environment.
- b) Uncertainty due to the physical length changes resulting from strain and temperature will arise if the fibre length is determined at a different strain level and/or temperature. It is therefore advisable to reduce this uncertainty to a negligible magnitude by measuring the fibre length as soon as possible prior to or following the dispersion measurements, and to use that value in dispersion results generation.
- c) Temperature has an additional effect of physically altering $dn/d\lambda$ to first order (a form of thermo-optic effect), amounting to a zero dispersion wavelength shift of $\sim +0,03\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$. The temperature sensitivity of the slope is typically negligible. A reasonable level of thermal drift during the measurement time would be $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. This applies to all measurement techniques since it is a "real" physical effect on the fibre under test. It is also advisable that comparison measurements using reference fibres are made at similar temperatures (i.e. $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) to render negligible the uncertainty arising from the thermo-optic effect.

C.2.3 Second order modes

Dispersion measurements are normally confined to wavelengths above the usual cut-off in telecommunication-grade fibres, i.e. 1 270 nm. However, the presence of higher order modes in the fibre will cause dispersion measurement uncertainty and so it is essential for calibration to be guaranteed to operate only in the region above the fibre cut-off. This rule applies to all fibres under test as well as to any fibre optic parts of the CD test set. Alternatively, a suitable fibre mode filter to remove the higher order modes shall be used if dispersion measurements are made near to or below the expected fibre cut-off wavelengths.

C.2.4 OH⁻ absorption

The hydroxyl (OH⁻) absorption peaks at 1 240 nm and 1 380 nm are normally almost absent in modern high-quality fibre. However, in the presence of a large (for example 4 dB km⁻¹) OH⁻ peak and in the vicinity of this peak, some dispersion modification may occur. This will affect dispersion calibration accuracy. Ensure to

- a) avoid the 1 240 nm and 1 380 nm regions, and/or
- b) to provide calibrated measurements only on low OH⁻ fibres.

C.2.5 Total fibre loss

To establish the uncertainty of the test set over its dynamic range, it is necessary to characterize dispersion measurements on the fibre with a variable loss added in the series. The dispersion variation with added loss up to the CD test set dynamic range limit should be established to determine the possible uncertainty when operating over all loss ranges.

Ultimately, the dynamic range of the test set will be related to the combined effects of the total loss and the total dispersion of the fibre under test. For this reason, this series attenuator approach should not be treated as a complete or accurate indicator of the uncertainties caused by fibre loss.

C.2.6 Optical reflections

Reflections at interfaces within the CD test set optics and fibre will result in retrograde delay paths between the source and detector. This will result in pulse distortion or phase offset at the detector, which will bias the dispersion results. It is essential to maintain reflections as low as possible by suitable optical design, connectors of low reflectivity, index matched fibre splicing methods, etc. To maintain accuracy below 0,01 ps × nm⁻¹ × km⁻¹, it is usually necessary to maintain no more than -30 dB at each reflection point (for example connectors) and to limit the number of reflection points to a bare minimum.

Annex D (informative)

Chromatic dispersion

D.1 Chromatic dispersion in fibres

Chromatic dispersion is the variation with wavelength of the group delay of light propagating along a single mode optical fibre. It is defined in terms of the delay change per unit change in wavelength and is normalized to fibre length.

The chromatic dispersion coefficient is measured in units of $\text{ps} \times \text{nm}^{-1} \times \text{km}^{-1}$, i.e. picoseconds delay change per nanometre of source spectral width change per kilometre of fibre length.

The measured value and effect of chromatic dispersion is not dependent on the direction of propagation of light in the fibre and is only weakly dependent on fibre curvature and fibre temperature (see C.2.2).

Chromatic dispersion arises from

- a) material dispersion in the fibre, and
- b) profile and waveguide dispersion effects associated with the actual waveguide structure and the refractive index profile.

The total dispersion variation with wavelength is of interest particularly in the wavelength region(s) where dispersion falls to zero (i.e. where the fibre information carrying capacity is maximized). This (these) point(s) are usually in the 1 270 nm to 1 700 nm spectral range.

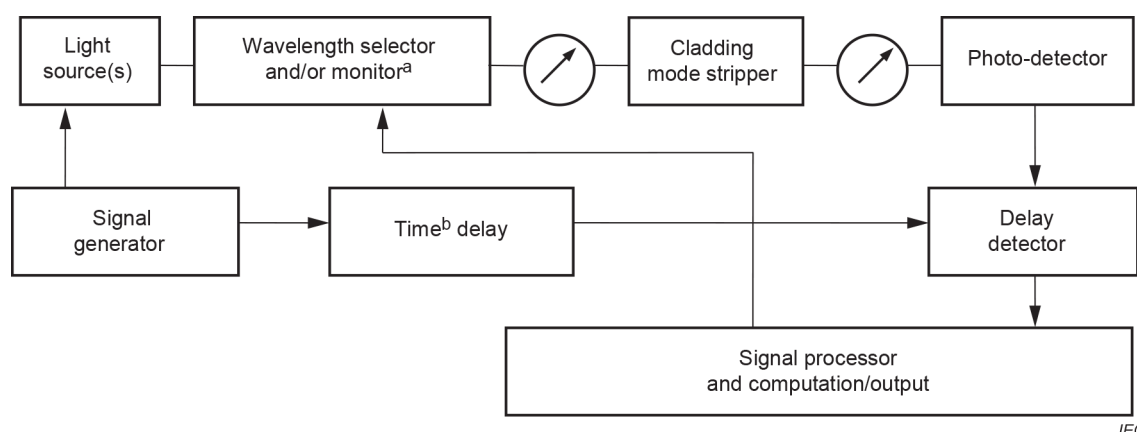
D.2 Description of chromatic dispersion test sets

A chromatic dispersion (CD) test set is an instrument which can measure the chromatic dispersion of single mode optical fibres as a function of wavelength (see Figure D.1).

The instrument may consist of a single unit, for example in fibre production/QA environments. Alternatively, where an installed fibre is being measured, it may be necessary to separate the instrument into (portable) transmitter and receiver units which may be operated at each end of the fibre. This document applies to both types of instrument.

Many CD test sets operate in the 1 310 nm and/or 1 550 nm wavebands where there is low optical loss in standard silica optical fibres. A typical result output might be graphs showing the group delay versus wavelength, dispersion versus wavelength and two parameters:

- a) zero dispersion wavelength(s) (λ_0), the point(s) at which dispersion is zero;
- b) the zero dispersion slope(s) (S_0), the slope(s) of the dispersion curve in units of $\text{ps} \times \text{nm}^{-1} \times \text{km}^{-1}$ at the zero dispersion wavelength(s).



^a When needed (this device is sometimes located between the fibre under test and the photodetector).

^b When needed.

Figure D.1 – Schematic diagram of a CD test set

D.3 Measurement techniques

D.3.1 General

Several techniques for chromatic dispersion measurement are in common use. The following techniques (IEC 60793-1-42) are considered here:

- the pulse delay method;
- the phase shift method;
- the differential phase shift method.

These methods are also each described in ITU-T Recommendation G.650.1.

The pulse delay and phase shift methods measure fibre group delay at a specific number of wavelengths. This delay data is fitted to a suitable, agreed, mathematical function. Dispersion at various wavelengths is then estimated by calculating the wavelength derivative of the functional fit. The differential phase shift method measures delay differences between two adjacent wavelengths and is thus able to output dispersion estimates directly.

Fitting functions are needed by all methods to evaluate the zero dispersion wavelength λ_0 and zero dispersion slope S_0 (see Clause D.4).

D.3.2 Pulse delay method

Light from a pulsed laser (or Raman laser source) is passed down the test fibre to a fast detector/preamplifier. The detector signal pulse waveform is displayed on a sampling oscilloscope or waveform processor which is triggered via a suitable delay generator. A micro-processor records the overall delay of the signal waveform relative to the time of occurrence of the (original input) light pulse at various wavelengths and performs the delay data fitting and dispersion calculation.

D.3.3 Phase shift method

The fibre group delay is obtained by measuring the phase shift incurred by sinusoidally intensity-modulated monochromatic light propagating through the test fibre. Group delay at various wavelengths is related directly to the phase values measured. A high frequency oscillator provides both the modulation input to the light source(s) and a reference signal to the phase meter system. A microprocessor performs delay calculations (by using a number of laser sources or a broadband source and monochromator system), data fitting and dispersion calculation.

D.3.4 Differential phase shift method

Dispersion is measured directly by measuring the differential group delay $\Delta\tau$ between adjacent wavelengths separated by $\Delta\lambda$. The dispersion is determined from the quantity $\Delta\tau/\Delta\lambda$. The differential delay is measured using the phase shift method in one of the following ways:

- a) mathematical subtraction of group delays obtained by an adaptation of the phase shift method;
- b) using two optical receivers, one for each test wavelength, and measuring the relative signal phases;
- c) using wavelength modulation to produce the dispersion value electronically (sometimes referred to as "double-demodulation").

A microprocessor records the differential delay data or dispersion data and performs dispersion fitting if required.

D.4 Fibre chromatic dispersion specifications

Fibres may be grouped into three main types in terms of their dispersion characteristics and specification. Refer to the fibres defined in IEC 60793-2-50.

- a) Dispersion-unshifted fibres
These exhibit a zero dispersion wavelength in the 1 310 nm region. The dispersion characteristics may accurately be modelled by a 3-term Sellmeier equation within the 1 310 nm region, or by a 5-term Sellmeier equation over a wider wavelength range.
- b) Dispersion-shifted fibres
These exhibit zero dispersion at a wavelength which is significantly higher than 1 310 nm, typically around 1 550 nm, the dispersion of which is accurately modelled using a quadratic delay data fit (or equivalently by a linear dispersion fit) within a specific wavelength range around lambda zero, or by a 5-term Sellmeier equation over a wider wavelength range.
- c) Non-zero dispersion fibres
These exhibit small but finite chromatic dispersion in the 1 550 nm waveband. No approved data fit exists at present (although a 5-term Sellmeier equation is possibly acceptable as a useful fit in the main wavelength regions of interest).

Bibliography

- [1] ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*
- [2] IEC 60793-1-42, *Optical fibres – Part 1-42: Measurement methods and test procedures – Chromatic dispersion*
- [3] IEC 60793-2-50, *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres*
- [4] IEC 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*
- [5] IEC 61315, *Calibration of fibre-optic power meters*
- [6] ISO/IEC Guide 99:2007, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*
- [7] ITU-T Recommendation G.650.1, *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable*
- [8] ITU-T Recommendation G.652, *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*
- [9] ITU-T Recommendation G.653, *Characteristics of a dispersion-shifted, single-mode optical fibre and cable*
- [10] ITU-T Recommendation G.655, *Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable*
- [11] Telcordia GR-761-CORE, *Generic Criteria for Chromatic Dispersion Test Sets*
- [12] BARLOW, AJ. Techniques for the absolute calibration of chromatic dispersion measuring instruments. *Proc SPIE*, 1987, 841
- [13] BOSSELAAR, L., KUIJT, G., VAN LUIJK, F., MATTHIJSSE, P. Accuracy of phase shift technique with LED's for measuring total dispersion in single-mode fibres. *NBS Symposium on Optical Fibre Measurements Boulder, CO*, 1986, p. 15-18
- [14] KAYE, GWC. and LABY, TH. *Tables of Physical and Chemical Constants and some Mathematical Functions*. Longman Group Limited, 1986
- [15] KITAYAMA, Y. and TANAKA, S. Length dependence of LP₁₁ mode cut-off and its influence on the chromatic dispersion measurements by phase shift method. *Proc SPIE* 584, p. 229-234
- [16] REED, WA., PHILEN, DL. Study of Algorithms used to fit group delay for single-mode optical fibres. *NBS Symposium on Optical Fibre Measurements Boulder, CO*, 1986, B-10
- [17] SAITO, J., OKI, T., YAMAMOTO, H. Wavelength Dispersion Measuring Equipment. *NBS Symposium On Optical Fibre Measurements*, 1982, p. 29-32

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	36
0 Introduction	38
0.1 Dispersion chromatique dans les fibres optiques	38
0.2 Ensembles d'essai de la dispersion chromatique (CD)	38
0.3 Vue d'ensemble des procédures d'étalonnage décrites dans le présent document	38
1 Domaine d'application	40
2 Références normatives	40
3 Termes et définitions	41
4 Etalonnage	45
4.1 Généralités	45
4.2 Préparation pour l'étalonnage	45
4.2.1 Conseil général et organisation	45
4.2.2 Exigences relatives aux conditions d'environnement	45
4.2.3 Exigences relatives à l'équipement de mesure	45
4.2.4 Traçabilité	46
4.3 Procédure d'étalonnage	46
5 Procédure d'étalonnage de la longueur d'onde et du retard	47
5.1 Procédure d'étalonnage de la longueur d'onde	47
5.1.1 Généralités	47
5.1.2 Sources discrètes	47
5.1.3 Sources accordables	48
5.1.4 Incertitudes et consignation	50
5.2 Procédure d'étalonnage du retard (dispersion)	51
5.2.1 Généralités	51
5.2.2 Equipement et préparation	51
5.2.3 Procédure d'étalonnage	53
5.2.4 Incertitudes et consignation	54
6 Etalonnage à l'aide d'une fibre de référence	54
6.1 Généralités	54
6.2 Equipement et préparation	54
6.3 Procédure	55
6.4 Incertitudes et consignation	55
7 Documentation	56
7.1 Généralités	56
7.2 Contenu du certificat d'étalonnage	56
Annexe A (normative) Base mathématique pour les calculs d'incertitude de mesure	57
A.1 Généralités	57
A.2 Ecart	57
A.3 Incertitudes de type A	57
A.4 Incertitudes de type B	58
A.5 Détermination de l'incertitude-type combinée	59
A.6 Consignation	60
Annexe B (normative) Incertitude d'étalonnage	61
B.1 Généralités	61
B.2 Incertitudes liées à l'étalonnage de la longueur d'onde et du retard	61

B.2.1	Incertitudes liées à la longueur d'onde.....	61
B.2.2	Incertitude liée à l'étalonnage du retard optique.....	61
B.2.3	Effets de la modélisation de la dispersion	61
B.3	Incertitude liée à un étalonnage à l'aide d'une fibre de référence	62
Annexe C (informative)	Incertitude dans les conditions de fonctionnement.....	63
C.1	Généralités	63
C.2	Incertitudes liées à la fibre	63
C.2.1	Déformation axiale de la fibre	63
C.2.2	Température de la fibre	63
C.2.3	Modes de second ordre	64
C.2.4	Absorption d'ions d'oxydroxyle (OH^-)	64
C.2.5	Affaiblissement total de la fibre.....	64
C.2.6	Réflexions optiques	64
Annexe D (informative)	Dispersion chromatique.....	65
D.1	Dispersion chromatique dans les fibres	65
D.2	Description des ensembles d'essai de la dispersion chromatique.....	65
D.3	Techniques de mesure.....	66
D.3.1	Généralités	66
D.3.2	Méthode de retard d'impulsion.....	66
D.3.3	Méthode de déphasage	67
D.3.4	Méthode de déphasage différentiel	67
D.4	Spécifications de la dispersion chromatique de la fibre	67
Bibliographie.....		68
Figure 1 – Exemple de chaîne de traçabilité		42
Figure 2 – Artéfact typique de ligne de retard optique pour l'étalonnage du retard d'un ensemble d'essai CD		51
Figure 3 – Simulateur typique de retard (dispersion) différentiel pour l'étalonnage d'un ensemble d'essai CD		53
Figure 4 – Comparaison de fibres de référence.....		55
Figure A.1 – Ecart et incertitude de type B, et comment les remplacer par une incertitude plus grande appropriée		59
Figure D.1 – Diagramme schématique d'un ensemble d'essai CD		66

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉTALONNAGE DES ENSEMBLES D'ESSAI DE LA DISPERSION CHROMATIQUE FIBRONIQUE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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 propriété et averti de leur existence.

L'IEC 61744 a été établie par le comité d'études 86 de l'IEC: Fibres optiques. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2005. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) mise à jour des termes et définitions;
- b) l'utilisation d'une fibre de référence (normale) pour l'étalonnage est désormais autorisée et est considérée assurer le même niveau que les autres méthodes d'étalonnage;
- c) l'Annexe B a été scindée en une nouvelle Annexe B (sur l'incertitude d'étalonnage, qui reste une annexe normative) et en une nouvelle Annexe C (sur l'incertitude dans les conditions de fonctionnement, informative);

- d) suppression de l'ancien C.3.4 sur la méthode interférométrique, car celle-ci n'est plus prise en charge dans l'IEC 60793-1-42;
- e) suppression de l'Annexe D et des autres références dans le texte à la compensation d'étalonnage, afin d'assurer la cohérence avec les autres documents d'étalonnage;
- f) suppression de l'Annexe E et des autres références dans le texte à l'utilisation de longueur d'onde dans l'air, car cela n'est pas utilisé dans le domaine fibronique.

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

Projet	Rapport de vote
86/615/FDIS	86/617/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

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

0 Introduction

0.1 Dispersion chromatique dans les fibres optiques

La dispersion chromatique est la variation de la longueur d'onde de la lumière optique en fonction du temps de propagation de la lumière sur la longueur de la fibre. Cette variation peut entraîner une limitation de la largeur de bande de la fibre lorsqu'elle est utilisée pour transmettre des signaux de communication. Pour une explication plus précise, se référer à l'Annexe D et à l'IEC 60793-1-42.

0.2 Ensembles d'essai de la dispersion chromatique (CD)

Les ensembles d'essai de dispersion chromatique (CD) sont utilisés pour mesurer les propriétés de la dispersion chromatique des fibres optiques et comprenant typiquement une source optique de longueur(s) d'onde connue(s), des moyens de couplage d'entrée et de sortie de lumière pour une fibre, des moyens de détection optique, et des moyens optiques et électroniques pour déterminer le retard ou la dispersion optique pour la longueur d'onde de la source. Il existe plusieurs variantes, chacune exigeant des techniques d'étalonnage légèrement différentes. Se référer à l'Annexe D pour des précisions supplémentaires.

En général, tous les ensembles d'essai CD produisent une sortie du retard ou de la dispersion de la fibre en fonction de la longueur d'onde de la lumière, typiquement sous forme graphique.

Par essence, tous les ensembles d'essai de la dispersion chromatique utilisent la longueur d'onde comme une variable programmée (indépendante), généralement l'abscisse (l'axe x) et la dispersion ou le retard en tant qu'ordonnée (l'axe y) comme une variable mesurée (dépendante). Selon leur nature, les mesures de la dispersion chromatique de la fibre exigent la programmation de multiples longueurs d'onde. Même dans le cas d'un point de dispersion simple obtenu en utilisant la méthode du déphasage différentiel, deux valeurs séparées de longueur d'onde sont utilisées. Il est typique également de produire une large plage de valeurs de dispersion sur une plage de longueurs d'onde à mesurer.

0.3 Vue d'ensemble des procédures d'étalonnage décrites dans le présent document

L'exigence d'étalonnage de l'ensemble d'essai CD, traçable à des étalons connus, est essentielle pour contrôler la qualité dans la production fibronique, dans la recherche de fibres et dans les activités similaires. Le présent document décrit les procédures particulières utilisées pour établir l'étalonnage d'un ensemble d'essai CD.

L'étalonnage d'un ensemble d'essai CD est établi en appliquant des artéfacts ou des étalons connus (eux-mêmes étalonnés à des étalons de référence) à l'ensemble d'essai CD et en mesurant sa réponse.

Les artéfacts ou les étalons principalement utilisés sont les suivants.

- a) L'artéfact ou les artéfacts de longueur d'onde, ou des instruments de mesure de longueur d'onde avec fonctionnalité de traçabilité, utilisés pour étalonner la ou les longueurs d'onde de la source de lumière utilisées par l'ensemble d'essai CD. Ceci permet d'établir la longueur d'onde correcte d'excitation pour le système (l'axe x).
- b) L'artéfact ou les artéfacts de retard ou de dispersion utilisés pour étalonner la réponse du retard ou de la dispersion de l'ensemble d'essai CD (l'axe y).
- c) La fibre de référence avec des valeurs traçables de dispersion chromatique, utilisée pour étalonner l'ensemble d'essai CD. Cette méthode permet d'effectuer l'étalonnage simultané de l'intégralité de l'ensemble d'essai CD, comprenant la mesure de la réponse du retard ou de la dispersion de l'ensemble d'essai CD en fonction de la longueur d'onde, ainsi que le traitement des données internes. Il est important de choisir de manière appropriée le type de fibre de référence, particulièrement pour un étalonnage précis de la longueur d'onde de dispersion nulle.

L'étalonnage ne peut être réalisé qu'en utilisant ces artéfacts; l'utilisation d'une fibre normale connue (fibre de référence, décrite en c)), de dispersion chromatique connue, est recommandée car la fibre forme une source stable de dispersion connue et peut être utilisée comme un simple artéfact de dispersion.

Si une variation significative des résultats de mesure de l'ensemble d'essai CD est établie par rapport aux exigences de l'utilisateur (c'est-à-dire que l'ensemble d'essai a dérivé au-delà de la répétabilité), alors des ajustages peuvent être effectués, selon les besoins.

Dans le présent document, le milieu de référence pour la longueur d'onde et la vitesse de la lumière est présumé être le vide, d'où un indice de réfraction défini à 1,000 000 0.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61744:2023

ÉTALONNAGE DES ENSEMBLES D'ESSAI DE LA DISPERSION CHROMATIQUE FIBRONIQUE

1 Domaine d'application

Le présent document fournit des procédures normales pour l'étalonnage des ensembles d'essai de la dispersion chromatique (CD) des fibres optiques.

Le présent document s'applique à tous les types d'ensembles d'essai CD, à l'exception des mesures sur des fibres optiques multimodales.

Le présent document a pour objet de définir une procédure normale pour l'étalonnage des ensembles d'essai de la dispersion chromatique (CD) des fibres optiques. Les étapes détaillées de l'étalonnage varient selon la technique de mesure utilisée sur l'ensemble d'essai CD.

Tandis qu'il est admis que la dispersion chromatique se produit également dans des fibres multimodales et que ces fibres peuvent être mesurées sur plusieurs ensembles d'essai CD, le présent document limite l'étude uniquement aux mesures sur des fibres unimodales.

Les procédures décrites dans le présent document ont pour objet d'attirer l'attention des fabricants et des utilisateurs des ensembles d'essai CD sur la réduction de l'incertitude de mesure relative à la détermination de la dispersion chromatique dans des fibres optiques, dans toutes les conditions applicables. Les procédures s'appliquent aux laboratoires d'étalonnage et aux fabricants ou utilisateurs des ensembles d'essai CD à des fins:

- a) d'étalonnage des ensembles d'essai CD; et
- b) d'évaluation du niveau de performance de l'instrument.

L'utilisation des procédures permet aussi une évaluation correcte de l'incertitude de l'ensemble d'essai CD, relative et traçable, par rapport à des étalons appropriés (par exemple des étalons nationaux).

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 60050-731, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 731: Télécommunications par fibres optiques*, disponible à l'adresse www.electropedia.org

IEC 62129-1, *Etalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde/appareil de mesure de la fréquence optique – Partie 1: Analyseurs de spectre optique*

IEC 62129-2, *Etalonnage des appareils de mesure de longueur d'onde/appareil de mesure de la fréquence optique – Partie 2: Appareils de mesure de longueur d'onde unique à interféromètre de Michelson*

Guide ISO/IEC 98-3, *Incertitude de mesure – Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60050-731 ainsi que les suivants s'appliquent.

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

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

3.1

laboratoire d'étalonnage accrédité

laboratoire d'étalonnage autorisé par le laboratoire national de métrologie compétent à produire des certificats d'étalonnage avec une incertitude minimale spécifiée, qui démontrent la traçabilité aux étalons nationaux

3.2

ajustage

ensemble d'opérations effectuées sur un instrument afin qu'il fournisse des indications spécifiques correspondant à des valeurs données du mesurande

3.3

artéfact

dispositif, instrument ou équipement utilisés dans le processus d'étalonnage d'un ensemble d'essai CD, pour la longueur d'onde et le retard ou la dispersion chromatique

3.4

étalonnage

ensemble des opérations qui établissent, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de grandeur fournies par un instrument de mesure et les valeurs correspondantes fournies par des étalons de mesure

Note 1 à l'article: Le résultat d'un étalonnage permet soit l'attribution de valeurs des mesurandes aux indications, soit la détermination de corrections par rapport aux indications.

Note 2 à l'article: Un étalonnage peut également déterminer d'autres propriétés métrologiques, telles que l'effet des grandeurs d'influence.

Note 3 à l'article: Le résultat d'un étalonnage peut être enregistré dans un document, parfois appelé certificat d'étalonnage ou rapport d'étalonnage.

Note 4 à l'article: Voir aussi le Guide ISO/IEC 99:2007, 2.39.

3.5

chaîne de traçabilité

chaîne de comparaison continue utilisant des étalons

Note 1 à l'article: Voir la Figure 1.

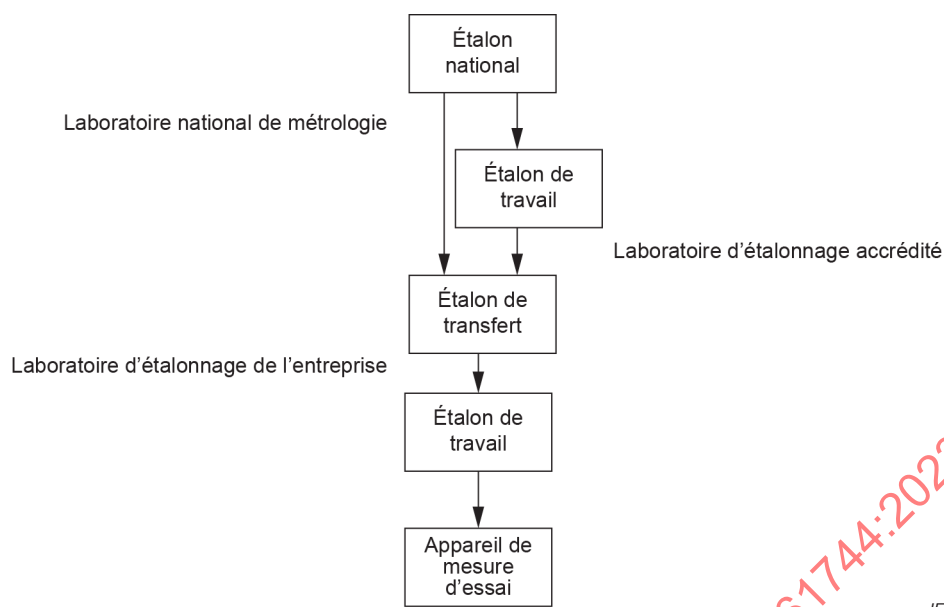


Figure 1 – Exemple de chaîne de traçabilité

3.6

longueur d'onde centroïdale

longueur d'onde moyenne pondérée en puissance d'une source de lumière dans le vide

Note 1 à l'article: Pour une source à spectre continu, la longueur d'onde centroïdale λ_c dans le vide est définie par l'intégrale suivante, où les limites d'intégration englobent le spectre entier de la source. Cependant, il est généralement suffisant de procéder à l'intégration ou à la sommation sur le spectre pour lequel la densité spectrale, $p(\lambda)$, ou la puissance, P_i , est supérieure à 0,1 % de la densité spectrale maximale, $p(\lambda)$, ou de la puissance, P_i .

$$\lambda_c = (1/P_{\text{total}}) \times \left[\int p(\lambda) \times \lambda \, d\lambda \right] \quad (1)$$

Où

$P_{\text{total}} = \int p(\lambda) \, d\lambda$ désigne la puissance optique totale de la source.

Pour un spectre composé de i modes discrets, la longueur d'onde centroïdale dans le vide, λ_c , est définie par:

$$\lambda_c = (1/P_{\text{total}}) \times \left[\sum_i p_i \lambda_i \right] \quad (2)$$

Où

$p(\lambda)$ désigne la densité spectrale de puissance de la source, exprimée en W/nm;

λ_c désigne la longueur d'onde centroïdale dans le vide, exprimée en nm;

λ_i est le i^{e} mode discret, exprimé en nm;

p_i désigne le niveau de puissance sur λ_i , exprimé en W;

$P_{\text{total}} = \sum_i p_i$ désigne la puissance totale, exprimée en W.

3.7**ensemble d'essai de la dispersion chromatique (CD)**

instrument capable de mesurer la dispersion chromatique d'une fibre unimodale à diverses longueurs d'onde dans les fenêtres de transmission concernées

Note 1 à l'article: Les fenêtres d'intérêt sont typiquement les gammes d'ondes de 1 310 nm et/ou 1 550 nm.

3.8**décalage correctif****CO**

nombre qui est ajouté au, ou retranché du, résultat de mesure d'un ensemble d'essai CD pour corriger un effet physique connu ou un écart

Note 1 à l'article: L'abréviation "CO" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Correction Offset".

3.9**mode de l'instrument**

description complète des conditions de mesure et de l'état de l'ensemble d'essai CD pendant le processus d'étalonnage

Note 1 à l'article: Les paramètres typiques du mode de l'instrument sont la plage de longueurs d'onde utilisée, le modèle d'ajustement de données (suivant le cas), le temps de préchauffage et les autres réglages de l'instrument.

3.10**résultat de mesure**

sortie affichée ou électrique de tout ensemble d'essai CD pour:

- la dispersion, D , exprimée en $\text{ps} \times \text{nm}^{-1} \times \text{km}^{-1}$;
- le lambda zéro, λ_0 , exprimé en nm;
- la pente de dispersion nulle, S_0 , exprimée en $\text{ps} \times \text{nm}^{-2} \times \text{km}^{-1}$.

après avoir accompli toutes les actions suggérées par les instructions de fonctionnement, par exemple le préchauffage

3.11**étalon national**

étalon reconnu par une décision nationale pour servir, dans un pays, comme base à l'attribution de valeurs à d'autres étalons de grandeurs de la même nature

Note 1 à l'article: Pour plus d'informations, voir le Guide ISO/IEC 99:2007, 5.3.

3.12**laboratoire national de métrologie**

laboratoire qui conserve l'étalon national

3.13**conditions de fonctionnement**

ensemble approprié de plages spécifiées de valeurs de grandeurs d'influence généralement supérieures aux conditions de référence pour lesquelles les incertitudes d'un instrument de mesure sont spécifiées

3.14**étalon de référence**

étalon présentant généralement la qualité métrologique la plus élevée en un lieu donné ou dans une organisation donnée, à partir duquel sont dérivées les mesures effectuées en ce lieu ou au sein de cette organisation

Note 1 à l'article: Pour plus d'informations, voir le Guide ISO/IEC 99:2007, 5.6.

3.15

facteur d'échelle

SF

rapport entre les valeurs normales connues pour un artéfact normal et les valeurs indiquées par l'ensemble d'essai CD lorsqu'aucun décalage correctif n'est appliqué

Note 1 à l'article: Les facteurs peuvent s'appliquer aussi bien à l'étalonnage de la longueur d'onde, du retard (dispersion), qu'aux valeurs consignées de longueur d'onde et de pente de dispersion nulle, et aux valeurs des données de dispersion réelles, lorsqu'une fibre de référence étalonnée est utilisée.

Note 2 à l'article: L'abréviation "SF" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Scaling Factor".

3.16

largeur de bande spectrale

B

largeur à mi-hauteur (FWHM, Full-Width at Half-Maximum) du spectre de la source

Note 1 à l'article: Si la source est une diode laser possédant un spectre à mode longitudinal multiple, alors la largeur de bande spectrale FWHM, B , correspond à la largeur de bande spectrale en valeur efficace multipliée par 2,35 (en présumant que la source possède une enveloppe gaussienne):

$$B = 2,35 \times \left[\left(\frac{1}{P_{\text{total}}} \right) \times \left(\sum_i p_i \lambda_i^2 \right) - \lambda_c^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

Où

λ_c désigne la longueur d'onde centroïdale (voir 3.6) de la diode laser, exprimée en nm;

$P_{\text{total}} = \sum_i p_i$ désigne la puissance totale, exprimée en W;

p_i désigne la puissance du i^{e} mode longitudinal, exprimée en W;

λ_i désigne la longueur d'onde dans le vide du i^{e} mode longitudinal, exprimée en nm.

3.17

traçabilité

propriété d'un résultat de mesure ou de la valeur d'un étalon selon laquelle ce résultat peut être relié à des références déclarées, généralement des étalons nationaux ou internationaux, par l'intermédiaire d'une chaîne ininterrompue de comparaisons, toutes associées à des incertitudes déclarées

Note 1 à l'article: Pour plus d'informations, voir le Guide ISO/IEC 99:2007, 2.41.

3.18

étalon de transfert

étalon de référence

étalon présentant généralement la qualité métrologique la plus élevée en un lieu donné ou dans une organisation donnée, à partir duquel sont dérivées les mesures effectuées en ce lieu ou au sein de cette organisation, qui sont ensuite utilisées pour étalonner les étalons de travail

3.19

étalon de travail

étalon qui est utilisé couramment pour étalonner des instruments de mesure

Note 1 à l'article: Un étalon de travail est habituellement étalonné par rapport à un étalon de transfert (3.18).

Note 2 à l'article: Pour plus d'informations, voir le Guide ISO/IEC 99:2007, 5.7.

4 Etalonnage

4.1 Généralités

L'Article 4 résume l'action d'étalonnage d'un ensemble d'essai de dispersion chromatique (CD) et détaille les recommandations pour les exigences d'environnement du dispositif d'étalonnage.

4.2 Préparation pour l'étalonnage

4.2.1 Conseil général et organisation

Il convient que le laboratoire d'étalonnage accrédité s'assure que les exigences appropriées relatives à l'étalonnage sont respectées.

NOTE Des recommandations et bonnes pratiques concernant l'étalonnage sont données dans l'ISO/IEC 17025 [1]¹.

Il convient qu'une procédure de mesure documentée soit élaborée pour chaque type d'étalonnage réalisé, spécifiant les instructions de fonctionnement pas-à-pas et l'équipement à utiliser.

4.2.2 Exigences relatives aux conditions d'environnement

Les exigences suivantes doivent être satisfaites:

- a) tous les essais doivent être réalisés à une température ambiante de $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ (ou une plage de tolérances moins étendue);
- b) l'ensemble d'essai CD, l'appareillage d'essai et l'équipement d'essai doivent disposer de suffisamment de temps pour atteindre l'équilibre thermique avec l'environnement, ceci en accord avec les recommandations des fabricants de chaque élément de l'équipement, avant le début d'une quelconque partie de la procédure d'étalonnage;
- c) le mode de l'instrument de l'ensemble d'essai CD et de l'équipement d'essai doit être consigné, ceci constituant une condition préalable pour la reproductibilité des mesures;
- d) il convient que les connecteurs et les ports d'entrée optique, etc., soient toujours nettoyés avant la mesure.

Si les conditions d'étalonnage effectives diffèrent de celles des étalons, s'assurer que la traçabilité des étalons reste possible avec le niveau d'incertitude exigé.

4.2.3 Exigences relatives à l'équipement de mesure

L'étalonnage de l'équipement d'essai soumis à la traçabilité décrite en 4.2.4 est obligatoire. Les essais décrits exigent l'utilisation de tout ou partie des points suivants:

- a) un affaiblisseur optique variable;
- b) un dispositif de mesure de la longueur d'onde (un analyseur de spectre optique étalonné conformément à l'IEC 62129-1 ou un mesureur de longueur d'onde étalonné conformément à l'IEC 62129-2) pour des sources discrètes de longueurs d'onde telles que des lasers;
- c) un étalon de longueur d'onde, par exemple un laser He-Ne ou un autre étalon de longueur d'onde, pour des systèmes qui utilisent un monochromateur accordable;
- d) un artéfact de ligne de retard optique (artéfact de ligne de retard optique différentiel) pour l'étalonnage du retard (dispersion);
- e) une fibre de référence étalonnée pour la dispersion chromatique.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

4.2.4 Traçabilité

S'assurer que tous les équipements d'essai qui sont significatifs dans le résultat de l'étalonnage ont été étalonnés dans une chaîne de traçabilité continue par rapport à l'étalon national approprié. La ou les périodes de réétalonnage doivent être définies et documentées. Les détails de traçabilité de ces équipements d'essai doivent être disponibles sur demande (voir l'Article 7).

4.3 Procédure d'étalonnage

Les méthodes d'étalonnage pour tous les types d'ensembles d'essai CD consistent à étalonner soit:

- a) la ou les longueurs d'onde de la source, puis séparément, la réponse du retard (dispersion) de l'ensemble, ce qui permet de déterminer le décalage correctif et/ou les facteurs d'échelle, indépendamment pour ces deux grandeurs; soit
- b) l'ensemble d'essai complet en une seule mesure, en utilisant une fibre de référence étalonnée pour la dispersion chromatique, ce qui permet de déterminer les décalages appropriés pour la dispersion chromatique, la pente de dispersion et la longueur d'onde de dispersion nulle.

Dans le cas a), l'utilisateur doit d'abord établir quel type de source(s) de lumière (par exemple des lasers ou des LED/filtres/monochromateurs) est utilisé et quelle technique de mesure est utilisée dans l'ensemble d'essai CD.

Certains ensembles d'essai CD peuvent réaliser plusieurs techniques de mesure, auquel cas il est nécessaire d'étalonner séparément l'ensemble d'essai CD pour toutes les techniques de mesure utilisées, sous les auspices du présent document.

Pour chaque étalonnage d'ensemble d'essai CD, la procédure se déroule comme suit.

- a) Utiliser la procédure appropriée à la méthode de mesure de l'ensemble d'essai CD
 - 1) pour l'étalonnage du paramètre de longueur d'onde (voir 5.1):
 - i) pour des systèmes à sources discrètes de longueurs d'onde, utiliser la procédure décrite en 5.1.2;
 - ii) pour des systèmes à sources accordables de manière continue, utiliser la procédure décrite en 5.1.3.
 - 2) utiliser l'équipement approprié à la méthode de mesure de l'ensemble d'essai CD, et étalonner le paramètre de retard en utilisant la procédure décrite en 5.2.3.
- b) Ou bien, en substitution des procédures données en a), effectuer uniquement l'étalonnage de la dispersion chromatique en utilisant la procédure décrite à l'Article 6.
- c) Reporter et consigner les résultats de l'étalonnage dans un certificat conformément à l'Article 7. L'ensemble d'essai CD est maintenant complètement étalonné par rapport aux étalons nationaux avec l'incertitude spécifiée.

5 Procédure d'étalonnage de la longueur d'onde et du retard

5.1 Procédure d'étalonnage de la longueur d'onde

5.1.1 Généralités

Le paragraphe 5.1 décrit les procédures d'étalonnage de la longueur d'onde dans les ensembles d'essai CD. Le principe technique consiste à appliquer des artéfacts de longueur d'onde tels que des sources externes, des éléments de transmission optique ou autres artéfacts pour déterminer la ou les longueurs d'onde centroïdales utilisées dans l'ensemble d'essai CD pour la mesure de dispersion. Les longueurs d'onde réelles utilisées peuvent alors être réglées. Le processus d'étalonnage diffère en fonction de la source de lumière utilisée dans l'ensemble d'essai CD à l'étude. Pour des ensembles utilisant des lasers ou autres sources discrètes de longueur d'onde, voir 5.1.2; pour les sources variables (accordables) de manière continue, voir 5.1.3. Dans les deux cas, voir 5.1.4 pour consigner les résultats d'étalonnage.

5.1.2 Sources discrètes

De nombreux ensembles d'essai CD utilisent des diodes lasers discrètes ou des sources LED/lampe discrètes filtrées et la procédure ci-dessous doit être utilisée pour étalonner la longueur d'onde. Tout appareillage de mesure, artéfact ou équipement supplémentaire utilisé dans cette procédure doit être étalonné au préalable par rapport aux étalons traçables. Pour ces instruments, la procédure suivante doit être utilisée:

- a) Etablir que les exigences relatives aux équipements d'essai sont satisfaites (voir 4.2.3).
- b) Etablir que les conditions d'environnement d'essai sont satisfaites (voir 4.2.2).
- c) Régler le mode de l'instrument de l'ensemble d'essai CD sur les réglages appropriés pour les procédures d'étalonnage (voir 4.2.2).
- d) Se référer à l'Annexe B pour prendre en compte les effets et les origines techniques des sources d'incertitude.
- e) Pour chaque source discrète, mesurer la longueur d'onde en utilisant un des éléments suivants, en s'assurant dans un premier temps qu'il est lui-même étalonné:
 - 1) un analyseur de spectre optique;
 - 2) un mesureur de longueur d'onde.
- f) Pour chaque source discrète, mesurer la longueur d'onde centroïdale, λ_c , et la largeur de bande spectrale, B (comme définies respectivement en 3.6 et 3.16).
- g) Le décalage potentiel de la longueur d'onde dans différentes conditions de modulation de la source (fluctuation) doit être pris en compte. Les incertitudes individuelles des longueurs d'onde de la source doivent également être évaluées. L'incertitude de longueur d'onde peut varier avec la longueur d'onde réelle (région) utilisée, de sorte que dans l'évaluation ultérieure des incertitudes de dispersion, la ou les valeurs correctes d'incertitude doivent être utilisées. Utiliser la longueur d'onde centroïdale, λ_c , et la largeur de bande spectrale, B , pour le calcul ultérieur du retard et/ou de la courbe de dispersion. Les techniques appropriées de mise en place de l'incertitude de longueur d'onde sont décrites dans l'IEC 62129-1.
- h) Les longueurs d'onde étalonnées de la ou des sources choisies doivent être utilisées dans le calcul de la relation d'accord du monochromateur (courbe d'étalonnage).

5.1.3 Sources accordables

5.1.3.1 Généralités

Pour des ensembles d'essai CD qui utilisent des sources variables (accordables) de manière continue, l'étalonnage de la longueur d'onde implique la détermination de l'étalonnage de la longueur d'onde du monochromateur utilisé pour la sélection de la longueur d'onde sur la plage de longueurs d'onde de l'ensemble d'essai CD. Ceci peut être accompli au choix selon trois méthodes (voir 5.1.3.2, 5.1.3.3, 5.1.3.4) ou par une combinaison de ces trois méthodes, comme détaillé ci-dessous. Tous les appareillages, artéfacts ou équipements utilisés dans ces procédures, ainsi que tous les appareillages, artéfacts ou équipements supplémentaires, doivent être étalonnés par rapport aux étalons traçables.

Dans tous les cas de filtres ou de sources normaux, il convient que la largeur de bande spectrale ne dépasse pas 5 nm en FWHM. De la même manière, il convient que la résolution spectrale de l'appareillage de mesure de la longueur d'onde soit adaptée à l'incertitude de longueur d'onde exigée.

5.1.3.2 Méthode A

Cette méthode utilise un nombre suffisant de sources lumineuses externes de longueurs d'onde optiques connues (ou un ensemble de longueurs d'onde) à l'entrée du monochromateur.

- a) Chaque source de lumière externe connue doit être étalonnée, stable, de longueur d'onde bien définie et caractérisée par des modes discrets. L'étalonnage du monochromateur peut être ramené à un phénomène physique fondamental en dérivant les longueurs d'onde d'essai à partir de sources classiques de longueurs d'onde discrètes. Celles-ci pourraient prendre la forme d'un laser He-Ne 633 nm, d'un laser d'argon, d'une lampe à mercure, etc., auxquels le monochromateur, à l'intérieur de l'ensemble d'essai CD peut être accordé, en utilisant divers ordres de diffraction. Le but est d'obtenir un nombre suffisant de points d'étalonnage pour que l'entraînement du monochromateur couvre complètement la plage de longueurs d'onde de l'ensemble d'essai CD (voir l'IEC 62129-1). Il est aussi possible d'obtenir des points d'étalonnage en utilisant une source (large bande) appropriée et un monochromateur étalonné connu. Il convient dans tous les cas que la largeur spectrale des sources soit inférieure à 5 nm (voir 5.1.4).
- b) S'assurer que le trajet optique de l'artéfact d'étalonnage reproduit exactement les conditions de fonctionnement normales dans l'ensemble d'essai CD. Il est important d'évaluer les incertitudes dues aux variations d'alignement optique entre l'étalonnage et l'utilisation normale de l'ensemble d'essai CD.
- c) Etablir que les exigences relatives aux équipements d'essai sont satisfaites (voir 4.2.3).
- d) Etablir que les conditions d'environnement d'essai sont satisfaites (voir 4.2.2).
- e) Régler le mode de l'instrument de l'ensemble d'essai CD sur les réglages appropriés pour les procédures d'étalonnage (voir 4.2.2).
- f) Se référer à l'Annexe B pour prendre en compte les effets et les origines techniques des sources d'incertitude.
- g) Pour chaque réglage de la longueur d'onde de la source ou de l'ordre de diffraction, la longueur d'onde centroïdale, λ_c , et la largeur de bande spectrale, B , doivent être mesurées (voir 3.6 et 3.16).
- h) L'évaluation des incertitudes individuelles de la ou des longueurs d'onde de la source et de l'incertitude totale de longueur d'onde, lorsque la relation d'accord a été calculée, doit être réalisée. L'incertitude de longueur d'onde peut varier avec la longueur d'onde réelle (région) utilisée, de sorte que dans l'évaluation ultérieure des incertitudes de dispersion, la ou les valeurs correctes d'incertitude doivent être utilisées. Les techniques appropriées de mise en place de l'incertitude de longueur d'onde sont décrites dans l'IEC 62129-1.
- i) Les longueurs d'onde étalonnées de la ou des sources choisies doivent être utilisées dans le calcul de la relation d'accord du monochromateur (courbe d'étalonnage).

5.1.3.3 Méthode B

Cette méthode introduit des artéfacts d'étalonnage, tels qu'un étalon ou un nombre suffisant de filtres optiques, de longueurs d'onde centroïdales connues dans le trajet optique de l'ensemble d'essai CD, typiquement à la place de la fibre d'essai à proprement parler. Dans ce cas, l'ensemble d'essai CD complet est utilisé pendant la procédure d'étalonnage.

- a) Il est possible d'obtenir plusieurs points d'étalonnage aux gammes d'ondes habituelles à 1 310 nm et 1 550 nm, ou à proximité de ces gammes d'ondes, en utilisant un étalon de longueurs d'onde multiples afin de réduire les incertitudes liées à la barre sinus du monochromateur ou la non-linéarité de longueur d'onde. Cet étalon peut prendre la forme de filtres passe-bas ou d'étalons de longueurs d'onde centroïdales étalonnées, placés dans l'alignement du monochromateur de la source CD et du détecteur. Un nombre suffisant de longueurs d'onde doit être utilisé. La résolution spectrale du monochromateur et/ou du filtre/de l'étalon doit être suffisante pour résoudre les points d'étalonnage avec l'incertitude exigée.
- b) S'assurer que le trajet optique de l'artéfact d'étalonnage reproduit exactement les conditions de fonctionnement normales dans l'ensemble d'essai CD. Il est important d'évaluer les incertitudes dues aux variations d'alignement optique entre l'étalonnage et l'utilisation normale de l'ensemble d'essai CD.
- c) Etablir que les exigences relatives aux équipements d'essai sont satisfaites (voir 4.2.3).
- d) Etablir que les conditions d'environnement d'essai sont satisfaites (voir 4.2.2).
- e) Régler le mode de l'instrument de l'ensemble d'essai CD sur les réglages appropriés pour les procédures d'étalonnage (voir 4.2.2).
- f) Se référer à l'Annexe B pour prendre en compte les effets et les origines techniques des sources d'incertitude.
- g) L'utilisation successive de chacun(e) des sources/filtres permet d'appliquer aux points de données une courbe d'étalonnage détaillée d'entraînement du monochromateur.
- h) Un nombre suffisant de longueurs d'onde du filtre/de la source doit être utilisé et peut être choisi pour se situer à l'intérieur des gammes d'ondes habituelles à 1 310 nm/1 550 nm.
- i) Il est important d'évaluer l'effet des conditions d'injection (par exemple, angle d'inclinaison du filtre) pour chaque artéfact utilisé.
- j) Pour chaque longueur d'onde utilisée, la longueur d'onde centroïdale, λ_c , et la largeur de bande spectrale, B , doivent être mesurées comme défini respectivement en 3.6 et 3.16.
- k) L'évaluation des incertitudes individuelles de la longueur d'onde d'artéfact et de l'incertitude totale de longueur d'onde, lorsque la relation d'accord a été calculée, doit être réalisée. L'incertitude de longueur d'onde peut varier avec la longueur d'onde réelle (région) utilisée, de sorte que dans l'évaluation ultérieure des incertitudes de dispersion, la ou les valeurs correctes d'incertitude doivent être utilisées. Les techniques appropriées de mise en place de l'incertitude de longueur d'onde sont décrites dans l'IEC 62129-1.
- l) Les longueurs d'onde étalonnées de la ou des sources choisies doivent être utilisées dans le calcul de la relation d'accord du monochromateur (courbe d'étalonnage).

5.1.3.4 Méthode C

Cette méthode mesure la longueur d'onde émanant du monochromateur en utilisant un instrument, par exemple un analyseur de spectre optique, un mesureur de longueur d'onde, ou un système de détection qui utilise un monochromateur.

La largeur spectrale du monochromateur est typiquement inférieure à 5 nm (voir 5.1.4) et une résolution spectrale suffisante à l'intérieur de l'ensemble d'essai CD doit être assurée.

- a) Réaliser, à divers réglages de longueur d'onde agréés du monochromateur de l'ensemble d'essai CD, une mesure de la longueur d'onde émanant du monochromateur de l'ensemble d'essai CD en utilisant un analyseur de spectre optique, un mesureur de longueur d'onde ou un système de détection utilisant un monochromateur.

- b) S'assurer que le trajet optique de l'artéfact d'étalonnage reproduit exactement les conditions de fonctionnement normales dans l'ensemble d'essai CD. Il est important d'évaluer les incertitudes dues aux variations d'alignement optique entre l'étalonnage et l'utilisation normale de l'ensemble d'essai CD.
- c) Etablir que les exigences relatives aux équipements d'essai sont satisfaites (voir 4.2.3).
- d) Etablir que les conditions d'environnement d'essai sont satisfaites (voir 4.2.2).
- e) Régler le mode de l'instrument de l'ensemble d'essai CD sur les réglages appropriés pour les procédures d'étalonnage (voir 4.2.2).
- f) Se référer à l'Annexe B pour prendre en compte les effets et les origines techniques des sources d'incertitude.
- g) Il est important d'évaluer l'incertitude due aux conditions d'injection dans le mesureur de longueur d'onde chaque fois que le rayonnement lumineux est injecté.
- h) Pour chaque longueur d'onde utilisée, la longueur d'onde centroïdale, λ_c , et la largeur de bande spectrale, B , du rayonnement lumineux de l'ensemble d'essai CD doivent être mesurées comme défini respectivement en 3.6 et 3.16.
- i) Les longueurs d'onde centroïdales et les largeurs spectrales doivent avoir les valeurs utilisées pour l'évaluation de la relation d'accord du monochromateur (courbe d'étalonnage).
- j) L'évaluation de l'incertitude individuelle de longueur d'onde, lorsque la relation d'accord a été calculée, doit être réalisée. L'incertitude de longueur d'onde peut varier avec la longueur d'onde réelle (région) utilisée, de sorte que dans l'évaluation ultérieure des incertitudes de dispersion, la ou les valeurs correctes d'incertitude doivent être utilisées. Les techniques appropriées de mise en place de l'incertitude de longueur d'onde sont décrites dans l'IEC 62129-1.
- k) Les longueurs d'onde étalonnées de la ou des sources choisies doivent être utilisées dans le calcul de la relation d'accord du monochromateur (courbe d'étalonnage).

5.1.4 Incertitudes et consignation

La largeur spectrale finie de la source de lumière utilisée dans un ensemble d'essai CD affecte l'incertitude des mesures de la dispersion étant donné que la dispersion varie avec la longueur d'onde.

Afin de réduire les incertitudes, les longueurs d'onde centroïdales de la source doivent être évaluées en utilisant la Formule (1), et non pas en prenant seulement la longueur d'onde de la puissance maximale ou la longueur d'onde centrale de la fenêtre du monochromateur. Ceci se vérifie tout particulièrement lorsque des sources à large bande (par exemple des LED) sont utilisées: elles possèdent une forme spectrale quasi gaussienne avec un monochromateur. Dans ce cas, le spectre de lumière après le monochromateur a, généralement, une forme spectrale asymétrique, conduisant à une longueur d'onde centroïdale du rayonnement lumineux qui ne correspond pas au centre de la fenêtre du monochromateur.

En pratique, lorsque des fibres ordinaires sont mesurées, le fait de se référer uniquement à la longueur d'onde centroïdale du monochromateur a un effet quasi négligeable pour des largeurs spectrales inférieures à 5 nm, avec des LED présentant une largeur spectrale FWHM d'au moins 50 nm (l'erreur induite dans la mesure pour la longueur d'onde de dispersion nulle et pour la pente de dispersion nulle d'une fibre est dans ce cas respectivement inférieure à 1 nm et à 1 %). Au-delà de ces limites, une évaluation correcte de la longueur d'onde centroïdale de la source utilisée est exigée (ce qui peut généralement être obtenu en utilisant la méthode C (5.1.3.4) pour l'étalonnage de la longueur d'onde de l'ensemble d'essai CD).

Les effets résiduels de la largeur spectrale finie de la source dépendent du système de détection du retard et il convient que ces effets soient évalués pour le type d'essai CD en cours d'utilisation. Lorsque la méthode A (5.1.3.2) et la méthode B (5.1.3.3) sont utilisées pour l'étalonnage de la longueur d'onde, il est souhaitable de maintenir la largeur spectrale de la source spectrale de référence inférieure à 5 nm. Dans tous les cas, il est essentiel de s'assurer de l'absence de lobes spectraux importants ou de lumière parasite.

Se référer à l'Annexe A et à l'Annexe B pour davantage de considérations, portant respectivement sur les incertitudes de manipulation et les sources d'incertitude concernant l'étalonnage de la longueur d'onde.

Se référer à l'Article 7 pour des détails sur la consignation des résultats d'étalonnage.

5.2 Procédure d'étalonnage du retard (dispersion)

5.2.1 Généralités

Le paragraphe 5.2.1 décrit les procédures d'étalonnage du retard (dispersion) dans les ensembles d'essai CD. La procédure est décrite en 5.2.3 et la consignation en 5.2.4.

5.2.2 Equipement et préparation

5.2.2.1 Généralités

Le paragraphe 5.2.2 décrit les artéfacts de retard (dispersion) et leurs utilisations.

Pour caractériser la réponse de la propagation optique du retard (dispersion) d'un système CD complet, il est nécessaire de simuler le retard de la fibre (dispersion) en utilisant un montage optique étalonné. Ceci est dû au fait que les variations du retard sur la plage de longueurs d'onde concernée sont trop faibles pour être établies électroniquement avec une précision suffisante.

Le principe est d'utiliser un artéfact variable de ligne de retard optique formé par un miroir mobile ou un prisme trièdre de type cube d'angle (voir la Figure 2 et la Figure 3) placé dans l'alignement du système optique de l'ensemble d'essai CD.

NOTE Les ensembles d'essai CD à déphasage différentiel utilisant la méthode de modulation en longueur d'onde (se référer à l'Annexe D) sont étalonnés en utilisant un "simulateur" de dispersion (comme représenté par exemple à la Figure 3, composée d'une ligne de retard optique fixe et d'une ligne de retard optique variable, chacune alternativement sélectionnée par un hacheur synchronisé au signal d'horloge de la modulation en longueur d'onde). Le retard différentiel entre les deux bras optiques simule la dispersion chromatique d'une fibre.

Tous les autres ensembles d'essai CD utilisent une seule ligne de retard, comme représenté à la Figure 2, qui simule le temps de retard dans la fibre.

Dans l'artéfact, un déplacement du prisme trièdre de type cube d'angle selon une grandeur x modifie les résultats dans le retard (dispersion) optique de $2x/c$ s, où c est la vitesse du rayonnement lumineux dans le vide. Il en résulte un retard d'impulsion, un décalage de phase, un décalage de la position des franges d'interférence ou un déphasage différentiel correspondants, qui sont observés par l'ensemble d'essai CD. En répétant les mesures pour chaque position du miroir/prisme utilisée, cela permet d'établir, pour un ensemble d'essai CD, une courbe du retard (dispersion) mesuré en fonction du temps de retard réel.

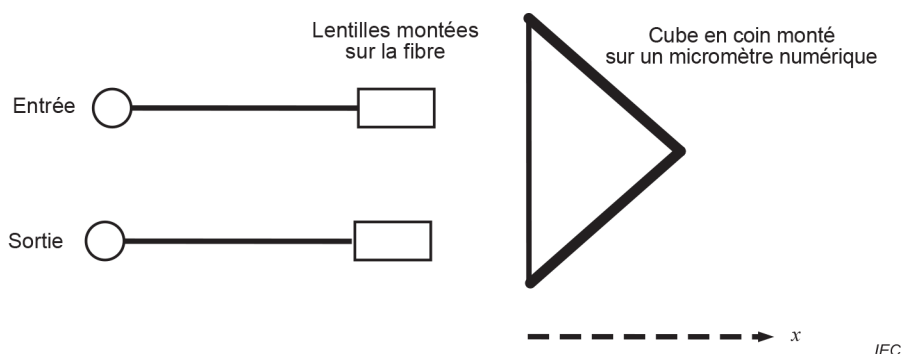


Figure 2 – Artéfact typique de ligne de retard optique pour l'étalonnage du retard d'un ensemble d'essai CD

La technique de ligne de retard optique est traçable par rapport aux étalons nationaux car c est indépendant de la longueur d'onde, tandis que l'étalonnage du mouvement linéaire du miroir/prisme est étalonné par une chaîne traçable par rapport aux étalons nationaux.

L'artéfact de ligne de retard optique (voir la Figure 2 et la Figure 3) doit être au moins assez long pour couvrir la plage complète des valeurs relatives de retard (dispersion) rencontrées dans les longueurs de la fibre d'essai utilisée dans l'ensemble d'essai. La résolution du mouvement linéaire doit être à un niveau répondant aux exigences relatives aux incertitudes.

5.2.2.2 Ensembles d'essai CD de retard d'impulsion

Pour les ensembles d'essai CD de retard d'impulsion, l'artéfact de ligne de retard (Figure 2) doit être utilisé plusieurs fois avec différentes valeurs de retard à l'origine, c'est-à-dire en ajoutant diverses longueurs de la fibre jusqu'à atteindre la longueur maximale attendue. Ceci permet de s'assurer que l'intégralité de la réponse du retard est linéaire, avec la même incertitude d'échelle pour les valeurs de retard typiques relatives et absolues rencontrées dans des essais de fibre normale.

5.2.2.3 Ensembles d'essai CD de déphasage

Pour les ensembles d'essai CD de déphasage, l'artéfact de ligne de retard (Figure 2) doit avoir une plage suffisante pour couvrir un cycle de phase complet (2π) de la fréquence de modulation RF et doit être utilisé plusieurs fois avec des conditions de phase différentes à l'origine, espacées sur le cycle de phase complet (2π) de la fréquence de modulation RF. Ceci permet de s'assurer que l'intégralité de la réponse du retard est linéaire, avec la même incertitude d'échelle pour toutes les conditions possibles de retard et de phase.

5.2.2.4 Ensembles d'essai CD de déphasage différentiel

La réponse de la dispersion pour des systèmes à déphasage différentiel est étalonnée en utilisant le principe de ligne de retard optique. La méthode utilisée diffère légèrement en fonction du type de méthode de déphasage différentiel utilisée dans l'ensemble d'essai CD.

- Systèmes à déphasage différentiel fonctionnant selon le principe des différences entre retards
Il convient que ces ensembles d'essai CD soient étalonnés en utilisant un appareillage similaire à celui représenté à la Figure 2. L'artéfact de ligne de retard doit être utilisé sur une plage suffisante pour couvrir un cycle de phase complet (2π) de la fréquence de modulation RF.
- Systèmes à déphasage différentiel employant la méthode de modulation en longueur d'onde
Ils doivent utiliser un appareillage similaire à celui représenté à la Figure 3. La ligne de retard doit être utilisée sur une plage suffisante pour couvrir l'intégralité d'un cycle de phase différentielle (2π) de la fréquence de modulation RF.

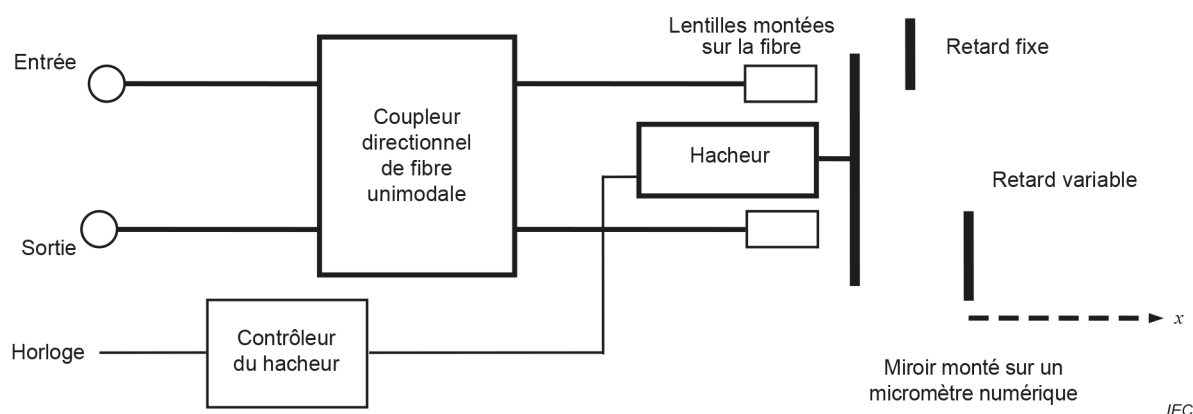


Figure 3 – Simulateur typique de retard (dispersion) différentiel pour l'étalonnage d'un ensemble d'essai CD

5.2.3 Procédure d'étalonnage

Il convient que la procédure d'étalonnage ci-dessous soit réalisée à plusieurs niveaux de puissance optique et obtenue en utilisant un affaiblisseur optique, afin de s'assurer que les effets dépendants du niveau du signal ont été pris en compte. Ceci assure que les variations du rendement de couplage ou d'affaiblissement de la fibre sont représentées.

L'étalonnage est commun à tous les types d'ensembles d'essai CD et est réalisé comme suit.

- Etablir que les exigences relatives aux équipements d'essai sont satisfaites (voir 4.2.3).
- Etablir que les conditions d'environnement d'essai sont satisfaites (voir 4.2.2).
- Régler le mode de l'instrument de l'ensemble d'essai CD sur les réglages appropriés pour les procédures d'étalonnage (voir 4.2.2).
- Se référer à l'Annexe B pour prendre en compte les effets et les origines techniques des sources d'incertitude; toutes les incertitudes (par exemple celles liées à la température, au vieillissement, etc.) associées aux artefacts de retard (dispersion) doivent être prises en compte.
- Choisir une longueur d'onde de fonctionnement spécifique pour l'étalonnage (par exemple, 1 310 nm).
- Installer la ligne de retard (voir la Figure 2 ou la Figure 3) avec le miroir/prisme à l'une des extrémités (par exemple, à l'origine) et configurer l'ensemble d'essai CD afin de mesurer le retard optique total, le déphasage, le décalage des franges d'interférence ou le déphasage différentiel pour ce système optique.
- Déplacer le miroir/prisme le long de la ligne selon des intervalles réguliers et mesurer le retard, le déphasage, le décalage des franges d'interférence ou le déphasage différentiel à chaque nouvelle position. Afin de réduire l'effet du bruit, ces mesures doivent être effectuées en moyennant suffisamment de données. Un nombre suffisant de positions sur la ligne de retard doit être utilisé. Les positions x successives du miroir donnent lieu à un retard égal à $2x/c$, et à une variation équivalente du déphasage ou du déphasage différentiel. Le cas échéant, convertir le déphasage en retard (déphasage différentiel en retard différentiel). Il convient que l'ensemble complet des mesures se trouve sur une ligne droite, de pente $2/c$, représentant le retard (retard différentiel), le déphasage, le décalage des franges d'interférence ou le déphasage différentiel en fonction de la position du miroir x .
- Utiliser la régression linéaire aux moindres carrés pour obtenir la meilleure ligne ajustée.

- i) Il convient que la pente, sl , et l'interception (décalage correctif, CO) de l'ajustement soient évaluées en utilisant les méthodes normales d'ajustement des données et que ces valeurs soient consignées. Le facteur d'échelle du retard (retard différentiel), SF_{del} , est défini comme suit

$$SF_{del} = [sl \times c/2] \quad (4)$$

Une quelconque non-linéarité visible (ou résidus d'ajustement de données de largeur excessive) ou un quelconque bruit représentent des sources potentielles d'incertitude. Le facteur d'échelle du retard (retard différentiel), SF_{del} , peut être utilisé pour faire les ajustages de l'ensemble d'essai CD. La procédure ci-dessus peut être répétée plusieurs fois pour établir une valeur d'incertitude d'échelle plus précise (moyenne). L'estimation du facteur d'échelle moyen du retard (retard différentiel), SF_{del} , du décalage nul et des autres incertitudes doit être réalisée (voir l'Article 7 et l'Annexe A).

5.2.4 Incertitudes et consignation

Se référer à l'Annexe A et à l'Annexe B pour des considérations portant respectivement sur les incertitudes de manipulation et les sources d'incertitude concernant l'étalonnage du retard (dispersion).

Se référer à l'Article 7 pour des détails sur la consignation des résultats d'étalonnage.

6 Etalonnage à l'aide d'une fibre de référence

6.1 Généralités

L'Article 6 décrit la procédure détaillée d'étalonnage pour un quelconque ensemble d'essai CD, établie en utilisant une fibre de référence pour la dispersion chromatique. Cette procédure permet d'étalonner l'ensemble d'essai sans avoir à traiter séparément les mesures de longueur d'onde et de dispersion. Ce point est important pour de nombreux instruments, qui ne permettent pas d'accéder séparément à chacune de ces grandeurs. L'étalonnage à l'aide d'une fibre de référence permet également d'évaluer simultanément les performances du traitement de données et de l'ajustement de la courbe, qui est mis en œuvre dans l'ensemble d'essai. Les critères de choix applicables à la fibre de référence et à la procédure d'étalonnage sont donnés en 6.2 et en 6.3. La Figure 4 décrit le processus d'étalonnage consistant à comparer des ensembles d'essai CD à l'aide d'une fibre de référence.

6.2 Equipement et préparation

Il convient de prendre en compte les points suivants pour le choix d'une fibre de référence.

- La fibre de référence doit être étalonnée par un laboratoire national de métrologie, à un niveau d'incertitude compatible avec les performances attendues pour l'instrument à étalonner.
- La dispersion chromatique, la longueur d'onde de dispersion nulle, la pente de dispersion et la longueur optique (le temps de cheminement d'une impulsion lumineuse qui se propage sur la fibre) de la fibre de référence doivent être étalonnées.
- Il convient dans l'idéal que la fibre de référence présente une longueur d'onde de dispersion nulle située dans la plage de longueurs d'onde de l'ensemble d'essai à étalonner.
- La fibre de référence doit présenter des niveaux d'affaiblissement bas ou modérés.
- La fibre de référence doit présenter une bonne homogénéité longitudinale et des propriétés "typiques" du type de fibre concerné (voir l'Annexe D), telles que le diamètre du champ de mode, la dispersion, etc.

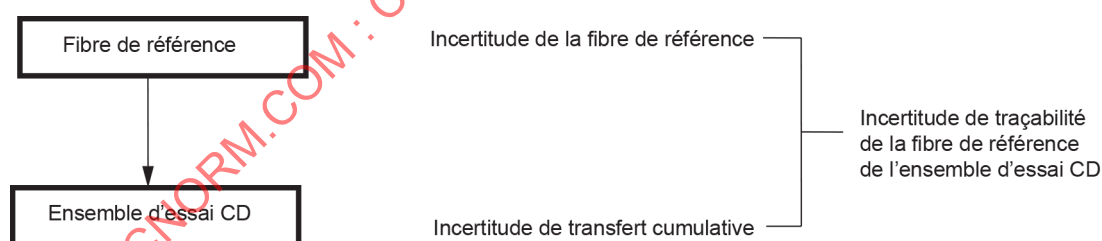
- f) Il convient que la longueur de la fibre de référence soit supérieure à la longueur minimale mesurable pour l'ensemble d'essai CD, c'est-à-dire > 1 km mais significativement inférieure à la longueur maximale, par exemple < 25 km, de sorte que la répétabilité de la mesure de la dispersion soit quasi optimale.
- g) Il convient que la fibre de référence soit protégée de manière appropriée contre les facteurs d'environnement, tels que les variations de température et les effets liés à la courbure, et elle peut facultativement être insérée dans une enceinte à environnement contrôlé.
- h) Il convient que la fibre de référence soit de préférence équipée de connecteurs (avec angle) à faible réflectivité.

NOTE Plusieurs fibres d'un ou de plusieurs types donnés peuvent être utilisées.

6.3 Procédure

Réaliser l'étalonnage en appliquant la procédure suivante (se référer à la Figure 4).

- a) Etablir que les exigences relatives aux équipements d'essai sont satisfaites (voir 4.2.3).
- b) Etablir que les conditions d'environnement d'essai sont satisfaites (voir 4.2.2).
- c) Régler le mode de l'instrument de l'ensemble d'essai CD sur les réglages appropriés pour les procédures d'étalonnage (voir 4.2.2).
- d) Se référer à l'Annexe B pour prendre en compte les effets et les origines techniques des sources d'incertitude.
- e) Présenter la fibre de référence (normale) à l'ensemble d'essai CD à l'étude. Utiliser la valeur de longueur normale de la fibre de référence et les quelconques corrections de longueur.
- f) Déterminer la longueur d'onde de dispersion nulle, λ_0 , et la pente de dispersion nulle, S_0 , de la fibre en utilisant l'ajustement de données et la plage de longueurs d'onde appropriés, puis déterminer l'écart. Si nécessaire, répéter la mesure plusieurs fois pour égaliser les incertitudes de type A.
- g) Comparer également les valeurs de dispersion et les valeurs résiduelles de l'ajustement des données (si utilisé) afin d'identifier de quelconques anomalies. Il est nécessaire d'évaluer l'incertitude des valeurs de la fibre de référence et ensuite d'évaluer l'incertitude de transfert successive (cumulative) (voir la Figure 4).



IEC

Figure 4 – Comparaison de fibres de référence

6.4 Incertitudes et consignation

Se référer à l'Annexe A et à l'Annexe B pour des considérations portant respectivement sur les incertitudes de manipulation et les sources d'incertitude concernant l'étalonnage.

Se référer à l'Article 7 pour des détails sur la consignation des résultats d'étalonnage.