

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**61744**

Deuxième édition  
Second edition  
2005-09

---

---

**Etalonnage des ensembles d'essai  
de la dispersion chromatique  
des fibres optiques**

**Calibration of fibre optic chromatic  
dispersion test sets**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 61744:2005

## Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

## Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

## Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tél: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

## Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

## Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site** ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**61744**

Deuxième édition  
Second edition  
2005-09

---

---

**Etalonnage des ensembles d'essai  
de la dispersion chromatique  
des fibres optiques**

**Calibration of fibre optic chromatic  
dispersion test sets**

© IEC 2005 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland  
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch) Web: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE **XA**

*Pour prix, voir catalogue en vigueur  
For price, see current catalogue*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	6
0 Introduction .....	10
0.1 Dispersion chromatique dans les fibres optiques .....	10
0.2 Ensembles d'essai de la dispersion chromatique (CD) .....	10
0.3 Vue d'ensemble des procédures d'étalonnage décrites dans la présente norme .....	10
1 Domaine d'application .....	14
2 Références normatives .....	14
3 Termes et définitions .....	16
4 Etalonnage .....	28
4.1 Justification pour l'étalonnage des ensembles d'essai CD .....	28
4.2 Préparation pour l'étalonnage .....	32
4.3 Procédure d'étalonnage .....	34
4.4 Procédure de vérification de l'étalonnage .....	36
5 Procédure d'étalonnage de la longueur d'onde .....	36
5.1 Généralités .....	36
5.2 Sources discrètes .....	38
5.3 Sources accordables .....	38
5.4 Incertitudes et rapport .....	44
6 Procédure d'étalonnage du retard [dispersion] .....	44
6.1 Généralités .....	44
6.2 Equipement et préparation .....	44
6.3 Procédure d'étalonnage .....	48
6.4 Incertitudes et rapport .....	50
7 Procédure de vérification de l'étalonnage .....	50
7.1 Généralités .....	50
7.2 Equipement et préparation .....	52
7.3 Procédure .....	52
7.4 Incertitudes et rapport .....	54
7.5 Génération de fibres enfants de référence .....	54
8 Documentation .....	56
8.1 Spécifications, données de mesure et incertitudes .....	56
8.2 Information de traçabilité .....	58
Annexe A (normative) Bases mathématiques .....	60
Annexe B (normative) Evaluation des incertitudes de fonctionnement .....	70
Annexe C (informative) Dispersion chromatique .....	86
Annexe D (informative) Compensation d'étalonnage de l'ensemble d'essai CD .....	94
Annexe E (informative) Longueur d'onde dans le vide et dans l'air .....	100
Bibliographie .....	106

## CONTENTS

FOREWORD .....	7
0 Introduction.....	11
0.1 Chromatic dispersion in optical fibres .....	11
0.2 Chromatic dispersion (CD) test sets .....	11
0.3 Overview of calibration procedures described in this standard .....	11
1 Scope .....	15
2 Normative references.....	15
3 Terms and definitions.....	17
4 Calibration .....	29
4.1 Rationale for calibration of CD test sets .....	29
4.2 Preparation for calibration .....	33
4.3 Calibration procedure.....	35
4.4 Calibration checking procedure .....	37
5 Wavelength calibration procedure .....	37
5.1 General .....	37
5.2 Discrete sources.....	39
5.3 Tunable sources .....	39
5.4 Uncertainties and reporting .....	45
6 Delay [dispersion] calibration procedure .....	45
6.1 General .....	45
6.2 Equipment and preparation .....	45
6.3 Calibration procedure.....	49
6.4 Uncertainties and reporting .....	51
7 Calibration checking procedure .....	51
7.1 General .....	51
7.2 Equipment and preparation .....	53
7.3 Procedure.....	53
7.4 Uncertainties and reporting .....	55
7.5 Generation of infant reference fibre.....	55
8 Documentation.....	57
8.1 Specifications, measurement data and uncertainties .....	57
8.2 Traceability information.....	59
Annex A (normative) Mathematical basis .....	61
Annex B (normative) Assessment of operational uncertainties .....	71
Annex C (informative) Chromatic dispersion .....	87
Annex D (informative) CD test set calibration compensation .....	95
Annex E (informative) Vacuum and air wavelength.....	101
Bibliography .....	107

Figure 1 – Chaîne d'étalonnage typique des ensembles d'essai CD .....	18
Figure 2 – Artéfact typique de ligne de retard optique pour l'étalonnage du retard d'un ensemble d'essai CD .....	46
Figure 3 – Simulateur typique de retard [dispersion] différentiel pour l'étalonnage d'un ensemble d'essai CD .....	48
Figure 4 – Comparaison de fibres de référence .....	54
Figure 5 – Génération d'une fibre de référence .....	54
Figure A.1 – Ecart et incertitude de type B, et comment remplacer chacune par une incertitude plus grande de manière appropriée .....	64
Figure C.1 – Diagramme schématique d'un ensemble d'essai CD .....	88
Figure E.1 – Dispersion et longueur d'onde dans l'air et dans le vide .....	102

Figure 1 – Typical calibration chain for CD test sets.....	19
Figure 2 – Typical optical delay line artefact for CD test set delay calibration .....	47
Figure 3 – Typical differential delay [dispersion] simulator for CD test set calibration.....	49
Figure 4 – Reference fibre comparison .....	55
Figure 5 – Generation of a reference fibre .....	55
Figure A.1 – Deviation and uncertainty type B, and how to replace both by an appropriately larger uncertainty .....	65
Figure C.1 – Schematic diagram of a CD test set.....	89
Figure E.1 – Dispersion and air and vacuum wavelength.....	103

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### ETALONNAGE DES ENSEMBLES D'ESSAI DE LA DISPERSION CHROMATIQUE DES FIBRES OPTIQUES

#### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La norme internationale CEI 61744 a été établie par le Comité d'études 86: Fibres optiques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2001. Cette édition constitue une révision technique. La modification principale consiste dans l'ajout de la référence à la longueur d'onde dans le vide. Cette référence est essentielle pour une production, une mesure et une vente des produits appropriée dans les applications émergentes dans le marché des fibres optiques tel que les systèmes à multiplexage dense en longueur d'onde (DWDM).

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86/236/FDIS	86/240/RVD

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



## 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

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

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2001. This edition constitutes a technical revision. The principal change is the addition of reference to wavelength in vacuum. This reference is critical for accurate production, measurement and sale of products in the emerging market applications of fibre optics such as dense wavelength division multiplexing (DWDM) systems.

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

FDIS	Report on voting
86/236/FDIS	86/240/RVD

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

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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

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

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

## 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 C et à la CEI 60793-1-1.

### 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 chromatiques 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 C pour des précisions supplémentaires.

En général, 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. Ainsi, la longueur d'onde constitue l'axe x et la dispersion ou le retard constitue l'axe y.

### 0.3 Vue d'ensemble des procédures d'étalonnage décrites dans la présente norme

L'exigence d'étalonnage de l'ensemble d'essai CD, traçable à des étalons connus, est essentielle pour contrôler la qualité dans la production des fibres optiques, dans la recherche de fibres et dans les activités similaires. La présente norme 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, en mesurant sa réponse et en ajustant (corrigeant) l'ensemble d'essai CD afin d'atteindre les résultats qui correspondent aux étalons utilisés. De cette façon, les résultats des ensembles d'essais CD pourront être amenés à un bon accord avec d'autres ensembles d'essai CD également étalonnés de la manière décrite dans la présente norme.

Les artéfacts ou les étalons principalement utilisés sont les suivants:

- a) le(s) artéfact(s) de longueur d'onde utilisé(s) pour étalonner la (les) longueur(s) d'onde de la source de lumière utilisée(s) par l'ensemble d'essai CD. Ceci permet d'établir la longueur d'onde correcte d'excitation pour le système (l'axe x) de façon à déterminer ensuite le retard correct ou la dispersion correcte (l'axe y);
- b) le(s) artéfact(s) de retard ou de dispersion utilisé(s) pour étalonner la réponse du retard ou de la dispersion de l'ensemble d'essai CD (l'axe y).

L'étalonnage ne peut être réalisé qu'en utilisant ces artéfacts. Une fois l'étalonnage terminé, une période d'étalonnage est définie sur laquelle l'ensemble d'essai CD est considéré comme rester étalonné. A la fin de cette période, il serait nécessaire d'établir si l'étalonnage de l'ensemble d'essai CD exige une mise à jour (modification); ceci peut être réalisé en utilisant les artéfacts décrits au-dessus ou en utilisant une fibre connue normalisée (fibre de référence) dont la dispersion chromatique est connue. Ceci est désigné comme une vérification de l'étalonnage. La fibre forme une source stable de dispersion connue et peut être utilisée comme un simple artéfact de dispersion.

S'il est trouvé que l'étalonnage n'a pas changé à l'intérieur des limites d'incertitude exigée, alors il est possible de simplement prolonger de nouveau la période d'étalonnage d'une quantité définie.

## **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 C and IEC 60793-1-1.

### **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 C 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. Thus, wavelength constitutes the 'x-axis' and delay or dispersion the 'y-axis'.

### **0.3 Overview of calibration procedures described in this standard**

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 standard 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, measuring its response and adjusting (correcting) the CD test set to achieve results that match the standards used. In this way the CD test set results will be brought to close agreement with other CD test sets also calibrated in the manner described in this standard.

Primarily the artefacts or standards used are as follows:

- a) wavelength artefact(s) 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') in order that the correct delay or dispersion (the 'y-axis') be determined subsequently;
- b) delay or dispersion artefact(s) used to calibrate the delay or dispersion response of the CD test set (the 'y-axis').

Calibration can only be carried out using these artefacts. After a calibration has been completed, a calibration period is defined over which the CD test set is deemed to remain calibrated. At the end of this period, it would be necessary to establish if the CD test set calibration requires updating (changing); this can be performed using the artefact described above, or by use of a known standard fibre (reference fibre) whose chromatic dispersion is known. This is referred to as calibration checking. The fibre forms a stable source of known dispersion and may be used as a simple dispersion artefact.

If it is found that the calibration has not changed within the required uncertainty limits, then it is possible to simply extend the calibration period again by a defined amount.

Si, toutefois, il est trouvé que les résultats de mesure de l'ensemble d'essai CD ont changé, de manière significative, par rapport aux exigences de l'utilisateur (c'est-à-dire que l'ensemble d'essai a dérivé), alors il convient que l'étalonnage (s'il n'a toujours pas été réalisé à cette date) soit réalisé en utilisant les artéfacts et l'étalonnage renouvelé.

La justification ci-dessus assure que l'étalonnage de l'ensemble d'essai CD n'est réalisé qu'en utilisant des étalons connus (artéfacts), mais que si l'ensemble d'essai CD est suffisamment stable sur la période d'étalonnage sélectionnée, alors une simple vérification de l'étalonnage peut suffire pour s'assurer de cela et pour (justifier) permettre la prolongation de la période d'étalonnage. La prolongation peut être répétée indéfiniment sur plusieurs périodes d'étalonnage, pourvu que l'ensemble d'essai CD puisse rester à l'intérieur des limites d'incertitude sur l'ensemble complet des périodes d'étalonnage.

Pour être considéré comme étalonné et conforme à la présente norme, un ensemble d'essai CD doit avoir son étalonnage ajusté et basé sur la comparaison à des artéfacts pour les paramètres principaux de longueur d'onde et de retard [dispersion]. Dans tous les cas, cet étalonnage des paramètres principaux est nécessaire, mais peut ou non être suffisant pour assurer l'étalonnage de l'ensemble d'essai CD en conformité avec les exigences relatives aux incertitudes.

De plus, il peut aussi être nécessaire de confirmer ou de compenser l'état d'étalonnage d'un ensemble d'essai CD en utilisant une fibre étalonnée de référence. La compensation de l'étalonnage de l'ensemble d'essai CD est expliquée de façon détaillée dans l'Annexe D. Il convient de noter que l'utilisation d'une seule fibre étalonnée de référence n'est pas suffisante pour assurer l'étalonnage d'un ensemble d'essai CD.

Il convient aussi de noter que, lorsqu'un ensemble d'essai CD étalonné subit une compensation d'étalonnage qui utilise une fibre étalonnée de référence, le domaine d'application et l'étendue de cet étalonnage sont limités aux conditions utilisées au moment de la compensation de l'étalonnage (c'est-à-dire longueur d'onde, type de fibre, régime de perte, etc.). Il convient de veiller que les ensembles d'essai étalonnés et compensés de cette manière soient utilisés uniquement à l'intérieur des limites appropriées de leur mesure d'étalonnage. Les ajustements exigés pour effectuer la compensation sur un ensemble de longueurs d'onde pour un type de fibre peuvent augmenter l'incertitude de mesure des autres types de fibres ayant des longueurs d'onde de dispersion minimales différentes.

Dans la présente norme, le média de référence pour la longueur d'onde et la vitesse de la lumière est supposée être dans l'air normal. Cependant, puisque la vitesse de la lumière dans l'air (ou plutôt l'indice de réfraction de l'air) dépend de la pression barométrique, de l'humidité et de la température, il est quelquefois avantageux de faire référence à la vitesse de la lumière dans le vide, et en conséquence de fixer l'indice de réfraction = 1,0000000. Ce qui conduit à un léger décalage de l'échelle des longueurs d'onde de l'ordre de 0,3 nm à 0,4 nm selon la valeur de la longueur d'onde, entre la longueur d'onde appelée «dans l'air» (comme indiqué dans cette norme) et la longueur d'onde dans le vide, également appelée «longueur d'onde dans le vide».

La longueur d'onde dans le vide est typiquement utilisée lorsqu'un contrôle très précis de la dispersion est exigé, comme c'est le cas dans des systèmes de câbles à fibres pour des grandes distances ou sous-marin. Les ensembles d'essai CD pour la mesure des fibres utilisées dans ces applications sont généralement étalonnés à la longueur d'onde dans le vide, c'est-à-dire en utilisant un ondemètre, ou par une correction mathématique des résultats obtenus avec un étalonnage de la longueur d'onde en air intérieur.

L'Annexe E est destinée à permettre à l'utilisateur de se familiariser avec la conversion à partir de la longueur d'onde dans l'air et des corrections mathématiques qui s'appliquent.

If, however, 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), then calibration using the artefacts (if not already carried out at this time) should be carried out and the calibration renewed.

The above rationale ensures that the CD test set calibration is only ever performed using known standards (artefacts), but that if the CD test set is sufficiently stable over the calibration period selected, then a simple check of calibration can suffice to ascertain this and to (justify) allow the extension of the calibration period. The extension can be repeated indefinitely over many calibration periods, provided the CD test set continues to remain within uncertainty limits over the entire set of calibration periods.

In order to be considered calibrated and in conformance with this standard, a CD test set must have its calibration adjusted based on comparison to artefacts for the primary parameters of wavelength and delay [dispersion]. In all cases, this calibration of primary parameters is necessary, but may or may not be sufficient, to ensure calibration of the CD test set to the required uncertainty.

In addition, it may be necessary to also confirm or compensate the calibration state of a CD test set using a calibrated reference fibre. The CD test set calibration compensation is explained more fully in Annex D. It should be noted that use of a calibrated reference fibre alone is not sufficient to ensure calibration of a CD test set.

It should also be noted that if a calibrated CD test set undergoes calibration compensation using a calibrated reference fibre, the scope and extent of its calibration is limited to the conditions used at the time of calibration compensation (i.e. wavelength, fibre type, loss regime, etc.) Care should be exercised that test sets calibrated and compensated in this manner are used only within the appropriate limits of their calibration extent. The adjustments required to effect compensation on one set of wavelengths for one fibre type may increase the uncertainty of measurement of other fibre types with different minimum dispersion wavelengths.

In this document, the reference medium for wavelength and the velocity of light is assumed to be in normal air. However, since the velocity of light in air (or rather, the refractive index of air) is dependent on barometric pressure, humidity and temperature, it is sometime advantageous to reference the velocity of light in vacuum, and hence define the refractive index = 1,0000000. This leads to a slight shift in the wavelength scale of the order of 0,3 nm to 0,4 nm depending on the wavelength value, between the so-called “wavelength in air” (as assumed in this document) and the wavelength in vacuum, also called “vacuum wavelength”.

Vacuum wavelength is typically used where very accurate dispersion control is required such as in long-haul or submarine fiber cable systems. CD test sets for measuring fibers used in these applications are typically calibrated to vacuum wavelength, e.g. using a wavemeter, or by mathematical correction of results obtained with an internal air wavelength calibration.

In order that the user be familiar with the conversion from air wavelength and the mathematical corrections involved, an informative annex, Annex E, is provided.

## ETALONNAGE DES ENSEMBLES D'ESSAI DE LA DISPERSION CHROMATIQUE DES FIBRES OPTIQUES

### 1 Domaine d'application

La présente Norme Internationale fournit des procédures normalisées pour l'étalonnage des ensembles d'essai de la dispersion chromatique (CD) des fibres optiques. Elle fournit également des procédures pour réaliser la vérification de l'étalonnage sur des ensembles d'essai CD pour lesquels une prolongation de la période d'étalonnage de l'ensemble d'essai peut être obtenue.

La présente norme est applicable à tous les types d'ensembles d'essai CD, à l'exception des mesures sur des fibres optiques multimodales.

La présente norme a pour objet de définir une procédure normalisée pour l'étalonnage des ensembles d'essai de la dispersion chromatique (CD) des fibres optiques. Les étapes particulières d'étalonnage utilisées varient selon la technique de mesure utilisée dans 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, la présente norme limitera l'étude uniquement aux mesures des fibres unimodales.

Les procédures soulignées dans la présente norme 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 dans la détermination de la dispersion chromatique dans des fibres optiques sous toutes les conditions applicables. Les procédures s'appliquent aux laboratoires d'étalonnage et aux fabricants ou utilisateurs des ensembles d'essai CD pour les besoins de

- a) l'étalonnage des ensembles d'essai CD;
- b) les spécifications de réglage d'ensembles d'essai CD;
- c) la prolongation de la période d'étalonnage d'un ensemble d'essai CD déjà étalonné.

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, nationaux).

### 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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).

CEI 60050-731, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 731: Télécommunications par fibres optiques*

CEI 60825-1, *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur*<sup>1)</sup>

---

<sup>1)</sup> Une édition consolidée 1.2 existe (1998) qui inclut la CEI 60825-1 (1993) et son Amendement 1 (1997) et Amendement 2 (2001).



## CALIBRATION OF FIBRE OPTIC CHROMATIC DISPERSION TEST SETS

### 1 Scope

This International Standard provides standard procedures for the calibration of optical fibre chromatic dispersion (CD) test sets. It also provides procedures to perform calibration checking on CD test sets whereby an extension to the test set calibration period may be obtained.

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

The purpose of this standard 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 may be measured on many CD test sets, this standard will restrict discussion to single mode fibre measurements only.

The purpose of the procedures outlined in this standard 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;
- b) setting specifications of CD test sets;
- c) extending the calibration period of an already calibrated CD test set.

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 referenced documents are indispensable for the application 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*

IEC 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide*<sup>1)</sup>

---

<sup>1)</sup> A consolidated edition 1.2 exists (1998) that includes IEC 60825-1 (1993) and its Amendment 1 (1997) and Amendment 2 (2001).

CEI 62129, *Étalonnage des analyseurs du spectre optique* <sup>2)</sup>

ISO 9000 (toutes les parties), *Normes pour la gestion de la qualité et l'assurance de la qualité*

BIPM/CEI/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML:1995, *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*

ISO/CEI 17025, *Prescriptions générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

### 3 Termes et définitions

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

#### 3.1

##### **laboratoire d'étalonnage accrédité**

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

#### 3.2

##### **ajustage**

modification du matériel ou du logiciel de contrôle de l'ensemble d'essai aux fins d'obtenir un résultat de mesure de l'ensemble d'essai CD équivalent à celui d'un étalon national ou d'un ensemble d'essai CD étalonné similaire. Ceci a pour conséquence la correction de toutes les mesures réalisées ultérieurement sur l'ensemble d'essai CD

#### 3.3

##### **artéfact**

dispositif, instrument ou équipement utilisés dans le processus d'étalonnage d'un ensemble d'essai CD, à la fois pour la longueur d'onde et le retard [dispersion] L'artéfact est un moyen de transférer l'étalonnage de ces paramètres à l'ensemble d'essai CD

#### 3.4

##### **étalonnage**

processus par lequel la relation entre les valeurs indiquées par l'ensemble d'essai enfant CD et les valeurs connues de l'étalon est établi sous des conditions spécifiées.

NOTE Le but de l'étalonnage est d'amener tous les ensembles d'essai CD vers un accord important avec un laboratoire d'étalons nationaux compétent. Ceci peut être réalisé en comparant premièrement le paramètre approprié d'un artéfact de mesure avec celui produit par l'ensemble d'essai CD, suivi par le transfert de ce résultat, soit par ajustement de l'ensemble d'essai CD, soit par documentation d'un ou plusieurs facteurs d'étalonnage dans un certificat d'étalonnage. Les conditions d'environnement traitées et l'état de l'instrument sont généralement enregistrés. L'étalonnage inclut l'estimation de toutes les incertitudes. Les fibres de référence sont utilisées uniquement pour la vérification de l'étalonnage.

#### 3.5

##### **chaîne d'étalonnage**

chaîne continue de transferts allant d'un étalon primaire vers l'ensemble d'essai CD via des étalons de référence, des étalons intermédiaires et/ou de travail (voir Figure 1)

---

<sup>2)</sup> A publier.

IEC 62129, *Calibration of optical spectrum analyzers* <sup>2)</sup>

ISO 9000 (all parts), Quality management and quality assurance standards

BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML:1995, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)*

ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

### 3 Terms and definitions

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

#### 3.1

##### **accredited calibration laboratory**

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

#### 3.2

##### **adjustment**

modifying the hardware or firmware of a CD test set with the intention of making the measurement result of the CD test set equal to that of a national standard or a similar calibrated CD test set. This has the effect of correcting all subsequent measurements on that CD test set

#### 3.3

##### **artefact**

device, instrument or equipment used in the process of calibrating a CD test set, for both wavelength and delay [dispersion]. The artefact is a means of transferring calibration of these parameters to a CD test set

#### 3.4

##### **calibration**

process by which the relationship between the values indicated by the CD test set and known values of the calibration standard is established under specified conditions

NOTE The intention of calibration is to bring all CD test sets into substantial agreement with a suitable national standards laboratory. This may be performed by first comparing the relevant parameter of a measurement artefact with that produced by the CD test set, followed by transfer of that result, either by adjustment of the CD test set or by documentation of a calibration factor(s) in a calibration certificate. The pertaining environmental conditions and instrument state are usually recorded. Calibration includes estimation of all uncertainties. The use of reference fibres is for calibration checking only.

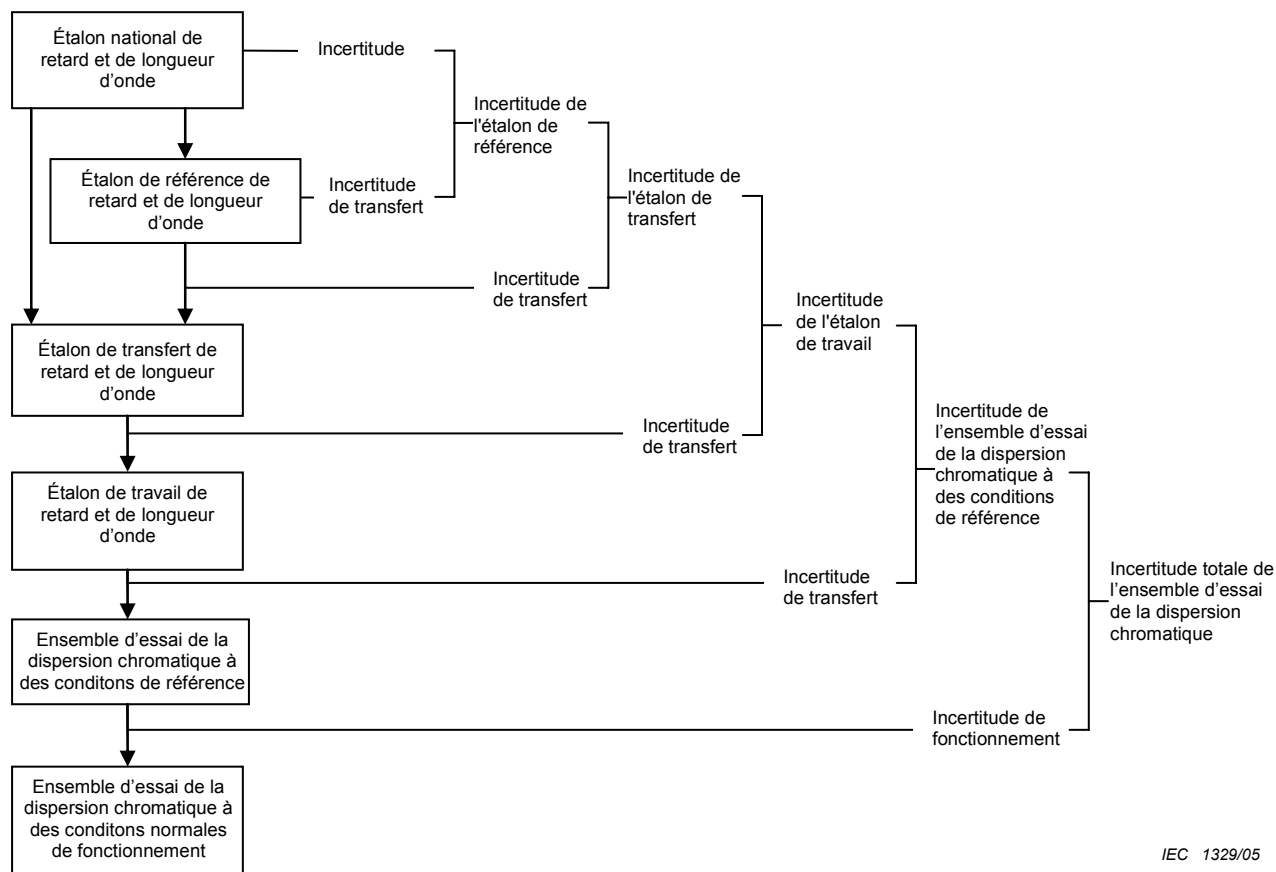
#### 3.5

##### **calibration chain**

unbroken chain of transfers from a primary standard to the CD test set via reference standards, intermediate and/or working standards (see Figure 1)

---

<sup>2)</sup> To be published.



IEC 1329/05

Figure 1 – Chaîne d'étalonnage typique des ensembles d'essai CD

### 3.6 vérification de l'étalonnage

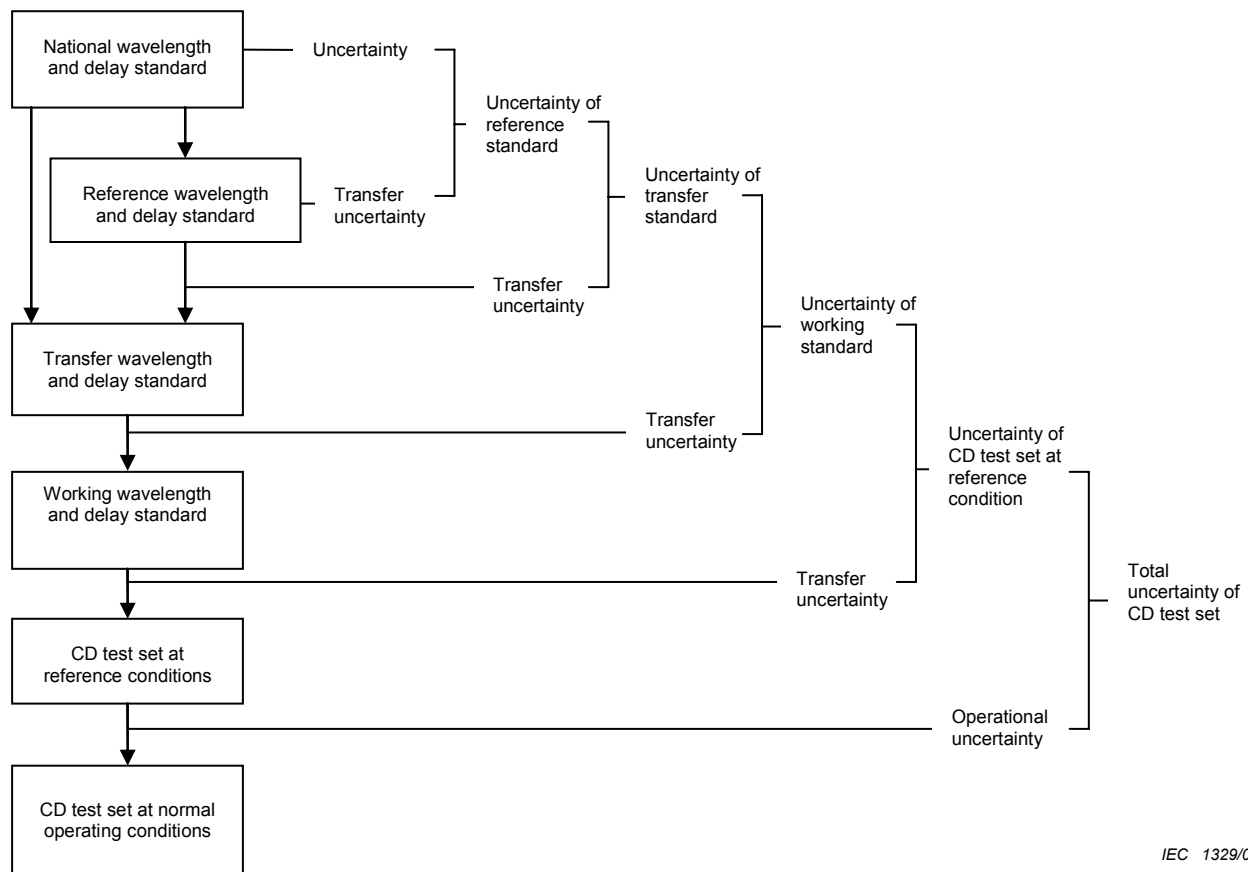
processus établissant qu'un ensemble d'essai CD qui a été précédemment étalonné, mais dont la période d'étalonnage arrive à échéance, reste à l'intérieur des limites d'incertitude spécifiées. Lorsque l'ensemble d'essai CD a dérivé en dehors de ces limites, alors un étalonnage est exigé. Dans le cas contraire, la période d'étalonnage peut être prolongée pour une période fixée, et la vérification de l'étalonnage peut être répétée indéfiniment tant que l'ensemble d'essai CD reste stable sur les périodes d'étalonnage successives

NOTE La vérification de l'étalonnage est réalisée en utilisant une fibre de référence ou un étalon de travail. En principe, la vérification de l'étalonnage est la première étape du processus d'étalonnage, mais sans processus supplémentaire de transfert ou d'ajustement.

### 3.7 période d'étalonnage

intervalle de confirmation

période de temps sur laquelle un étalonnage, réalisé en accord avec les procédures de la présente norme, est considéré comme restant à l'intérieur de l'ensemble des limites d'incertitude (c'est-à-dire comme restant valide). Le temps attribué sera régi par les exigences individuelles de l'utilisateur, les caractéristiques de l'ensemble d'essai CD, l'expérience antérieure, les conditions d'environnement, etc., et par l'expérience du résultat de mesure contrôlé, dans une utilisation normale, de l'ensemble d'essai CD surveillé (voir aussi l'ISO 10012)



IEC 1329/05

Figure 1 – Typical calibration chain for CD test sets

### 3.6 calibration checking

process of establishing that a CD test set which has been previously calibrated, but is nearing the end of its calibration period, remains within specified uncertainty limits. If the CD test set has drifted outside these limits, then calibration is required. Otherwise, the calibration period can be extended for a stated period, and calibration checking may be repeated indefinitely if the CD test set remains stable over successive calibration periods

NOTE Calibration checking is performed using a reference fibre or working standard. Essentially calibration checking is the first part of the process of calibration, but without the additional process of transfer or adjustment.

### 3.7 calibration period

interval of confirmation

time period over which a calibration performed in accordance with the procedures in this standard is deemed to remain within the uncertainty limits set. (i.e. remain valid). The time allotted will be governed by individual user requirements, CD test set characteristics, past experience, environmental conditions, etc. and by monitored CD test set measurement result experience in normal use (see also ISO 10012)

### 3.8 étalon

artéfact étalonné par rapport à un étalon de référence et qui est utilisé pour étalonner les ensembles d'essai CD. L'artéfact peut être un artéfact étalon de retard [dispersion] ou un artéfact étalon de longueur d'onde. L'utilisation appropriée de l'étalon assure la traçabilité. Le terme comprend l'étalon national, l'étalon de référence, l'étalon de transfert et l'étalon de travail dans l'ordre décroissant d'incertitude de mesure

### 3.9 longueur d'onde centrale

longueur d'onde moyenne pondérée en puissance dans l'air d'une source de lumière, exprimée en nanomètre (nm).

Pour une source à spectre continu, la longueur d'onde centrale dans l'air  $\lambda_c$  est définie par l'intégrale suivante, où les limites d'intégration englobent le spectre entier de la source:

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

où

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

Pour un spectre composé de  $i$  segments discrets, la longueur d'onde centrale dans l'air  $\lambda_c$  est définie par:

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

où

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

$\lambda_c$  est la longueur d'onde centrale dans l'air, exprimée en nm;

$\lambda_i$  est le  $i^{\text{ème}}$  segment discret, exprimé en nm;

$p_i$  est le niveau puissance sur  $\lambda_i$ , exprimé en W;

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

### 3.10 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, typiquement les gammes d'ondes à 1 310 nm et/ou à 1 550 nm.

### 3.11 incertitude combinée normalisée

combinaison d'un nombre d'incertitudes individuelles normalisées

NOTE Il convient que le terme «précision» soit évité dans ce contexte.

Il convient que tous les rapports d'étalonnage et fiches de données techniques rapportent l'incertitude combinée normalisée de l'ensemble d'essai CD comme une incertitude étendue totale,  $U$ , avec le niveau de confiance applicable, par exemple 95,5 % ou 99,7 %

**3.8****calibration standard**

artefact that is calibrated against a reference standard and is used to calibrate CD test sets. The artefact may be a delay [dispersion] or a wavelength standard artefact. Proper use of the calibration standard ensures traceability. The term includes the national standard, reference standard, the transfer standard and the working standard in descending order of metrological uncertainty

**3.9****central wavelength**

power-weighted mean wavelength of a light source in air, in units of nanometers (nm)

For a continuous source spectrum, the central wavelength  $\lambda_c$  in air is defined by the following integral, where the integration limits enclose the entire spectrum of the source:

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

where

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

For a spectrum consisting of  $i$  discrete lines, the centre wavelength in air  $\lambda_c$  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 density of the source in W/nm;

$\lambda_c$  is the central wavelength in air in nanometers;

$\lambda_i$  is the  $i^{\text{th}}$  discrete line in nm;

$p_i$  is the power levels at  $\lambda_i$  in W;

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

**3.10****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, typically the 1 310 nm and/or 1 550 nm wavebands

**3.11****combined standard uncertainty**

combination of a number of individual standard uncertainties

NOTE The term “accuracy” should be avoided in this context.

All calibration reports and technical data sheets should report the combined standard uncertainty of the CD test set as an overall expanded uncertainty,  $U$ , with the applicable confidence level, for example 95,5 % or 99,7 %.

**3.12****niveau de confiance**

estimation de la probabilité que la valeur réelle d'un paramètre mesuré se trouve dans la plage donnée (l'incertitude étendue)

**3.13****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 une incertitude systématique

**3.14****facteur de couverture****k**

utilisé pour calculer l'incertitude étendue,  $U$ , à partir de l'incertitude normalisée  $\sigma$  (voir la définition 3.15)

**3.15****incertitude étendue****U**

(intervalle de confiance)

plage de valeurs à l'intérieur de laquelle le paramètre de mesure, au niveau de confiance indiqué, est sensé se trouver. Il est égal au produit du facteur de couverture  $k$  par l'incertitude normalisée  $\sigma$ :

$$U = k \times \sigma \quad (3)$$

NOTE Lorsque la distribution des incertitudes est supposée normale et qu'un grand nombre de mesure ont été faites, alors les niveaux de confiance de 68,3 %, 95,5 % et 99,7 % correspondent à des valeurs de  $k$  respectivement de 1, 2 et 3.

Il convient que l'incertitude de mesure d'un ensemble d'essai CD soit spécifiée sous la forme de l'incertitude étendue  $U$

**3.16****fibre enfant de référence**

fibre dont la dispersion est mesurée par rapport à une fibre parent de référence. La fibre enfant de référence devrait alors être destinée à la vérification de l'étalonnage d'un ensemble d'essai CD

**3.17****état 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 Les paramètres typiques de l'état de l'instrument sont la plage de longueurs d'onde utilisée, le modèle d'ajustement de données (si applicable), le temps de préchauffage et les autres réglages de l'instrument.

**3.18****résultat de mesure**

sortie affichée ou électrique de tout ensemble d'essai CD de dispersion  $D$  exprimée en

- $\text{ps} \times \text{nm}^{-1} \times \text{km}^{-1}$ ,  $\lambda_0$  exprimé en nm, ou la pente  $S_0$  à dispersion nulle exprimée en unités de
- $\text{ps} \times \text{nm}^{-2} \times \text{km}^{-1}$ , après avoir accompli toutes les actions suggérées par les instructions de fonctionnement, par exemple le préchauffage



**3.12****confidence level**

estimation of the probability that the true value of a measured parameter lies in the given range (the expanded uncertainty)

**3.13****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 systematic uncertainty

**3.14****coverage factor,*****k***

used to calculate the expanded uncertainty,  $U$ , from the standard uncertainty  $\sigma$  (see 3.15)

**3.15****expanded uncertainty,*****U***

(confidence interval)

range of values within which the measurement parameter, at the stated confidence level, can be expected to lie. It is equal to the coverage factor  $k$  times the standard uncertainty  $\sigma$ :

$$U = k \times \sigma \quad (3)$$

NOTE When the distribution of uncertainties is assumed to be normal and a large number of measurements are made, then confidence levels of 68,3 %, 95,5 % and 99,7 % correspond to values of  $k$  of 1, 2 and 3, respectively.

The measurement uncertainty of a CD test set should be specified in the form of expanded uncertainty  $U$ .

**3.16****infant reference fibre**

fibre whose dispersion is measured against a parent reference fibre. The infant reference fibre would then be intended for calibration checking of a CD test set

**3.17****instrument state**

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

NOTE 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.

**3.18****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  $\lambda_0$  in units of nm, or 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.

**3.19****étalon national**

étalon dont la mesure est traçable selon des propriétés fondamentales, telles que la vitesse de la lumière, qui est reconnue par une décision nationale officielle et utilisée comme base pour fixer la valeur, dans un pays, de tous les autres étalons de la grandeur concernée

**3.20****laboratoire d'étalon national**

corps ou laboratoire qui maintient et exploite l'étalon national

**3.21****gamme de fonctionnement**

toutes les conditions, par exemple la dispersion, la température et autres quantités influentes, sur lesquels l'ensemble d'essai CD est conçu pour rester à l'intérieur de l'incertitude étendue indiquée

**3.22****fibre parent de référence**

fibre de référence qui est utilisée comme référence pour générer une fibre enfant de référence. La fibre parent de référence peut être utilisée pour la vérification de l'étalonnage d'un ensemble d'essai CD

**3.23****étalon de référence**

artéfact étalonné par rapport à un étalon national et utilisé pour étalonner des ensembles d'essai CD. L'artéfact peut être un artéfact étalon de retard [dispersion] ou un artéfact étalon de longueur d'onde normalisé. L'utilisation appropriée de l'étalon assure la traçabilité. Le terme comprend l'étalon national, l'étalon de référence, l'étalon de transfert et l'étalon de travail dans l'ordre décroissant d'incertitude de mesure

NOTE Dans la présente norme, le terme étalon de référence peut aussi être pris pour signifier la fibre (enfant ou parent) qui est utilisée comme référence pour la vérification de l'étalonnage de l'ensemble d'essai CD.

**3.24****facteur d'échelle****SF**

rapport entre les valeurs connues normalisées pour un artéfact normalisé et les valeurs indiquées par l'ensemble d'essai CD lorsque aucun décalage correctif n'est appliqué. Les facteurs peuvent s'appliquer aussi bien à l'étalonnage de la longueur d'onde, du retard [dispersion], qu'à la longueur d'onde à la dispersion nulle, à la pente et aux valeurs des données de dispersion réelles lorsque l'on utilise une fibre de référence étalonnée (voir l'Annexe D).

**3.25****largeur de bande spectrale**

largeur spectrale à mi-hauteur (FWHM) de la source

Si la source présente un spectre continu, alors la largeur de bande spectrale,  $B$ , doit être la largeur à mi-hauteur (FWHM) du spectre.

Si la source présente un spectre constitué de  $i$  segments discrets (par exemple, une diode laser possédant un spectre à mode longitudinal multiple), alors la largeur de bande spectrale FWHM,  $B$ , doit être la largeur de bande spectrale efficace (r.m.s.), multipliée par 2,35 (en supposant que la source possède une enveloppe Gaussienne):

$$B = 2,35 \times \left[ \left( \frac{1}{P_{\text{total}}} \right) \times \left( \sum_i p_i \lambda_i^2 \right) - \lambda_c^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

**3.19****national standard**

standard whose measurement is traceable to fundamental properties, such as the speed of light, which is recognized by an official national decision and used as the basis for fixing the value, in a country, of all other standards of the quantity concerned

**3.20****national standards laboratory**

body or laboratory that maintains and operates the national standard

**3.21****operating range**

all conditions of, for example, the dispersion, temperature and other influencing quantities, over which the CD test set is designed to perform within the stated expanded uncertainty

**3.22****parent reference fibre**

reference fibre which is used as the reference for generating an infant reference fibre. The parent reference fibre may be used for calibration checking of a CD test set

**3.23****reference standard**

artefact calibrated against a national standard and used to calibrate CD test sets. The artefact may be a delay [dispersion] or wavelength standard artefact. Proper use of the calibration standard ensures traceability. The term includes the national standard, reference standard, the transfer standard and the working standard in descending order of metrological uncertainty

NOTE In this standard, reference standard can also be taken to mean the fibre (infant or parent) which is used as the reference for calibration checking of a CD test set.

**3.24****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. 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 (see Annex D).

**3.25****spectral bandwidth**

full-width half-maximum (FWHM) spectral width of the source

If the source exhibits a continuous spectrum, then the spectral bandwidth,  $B$ , shall be the full-width-half-maximum (FWHM) of the spectrum.

If the source exhibits a spectrum consisting of  $i$  discrete line (for example, a laser diode with a multiple-longitudinal mode spectrum), then the FWHM spectral bandwidth  $B$  shall be the r.m.s. spectral bandwidth, multiplied by 2,35 (assuming the source has a Gaussian envelope):

$$B = 2,35 \times \left[ \left( \frac{1}{P_{\text{total}}} \right) \times \left( \sum_i p_i \lambda_i^2 \right) - \lambda_c^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

où

$\lambda_c$  est la longueur d'onde centrale de la diode laser (voir 3.9), exprimée en nm;

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

$p_i$  est la puissance du  $i^{\text{ème}}$  mode longitudinal, exprimée en W;

$\lambda_i$  est la longueur d'onde du  $i^{\text{ème}}$  mode longitudinal, exprimée en nm.

### 3.26

#### incertitude normalisée

écart-type normalisé

incertitude d'un résultat de mesure exprimée comme un écart-type normalisée  $\sigma$

NOTE 1 Pour plus d'informations, se référer à l'Annexe A, et au *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*.

NOTE 2 De manière à combiner les incertitudes provenant de différentes sources (voir Annexe A) il est important qu'elles soient toutes données au même niveau de confiance, c'est-à-dire pour des données distribuées normalement, à un niveau de confiance de 68,3 %. Ceci peut être atteint en utilisant chaque facteur de couverture  $k$  qui est déterminé par rapport à la distribution en  $t$  de l'étude pour chaque composant individuel d'incertitude.

### 3.27

#### traçabilité

capacité à démontrer, pour un résultat de mesure ou un ensemble d'essai CD, une chaîne continue d'étalonnage produite à partir d'un étalon national.

Les ensembles d'essai CD étalonnés par les procédures de la présente norme sont traçables. Dans le sens de la présente norme, la traçabilité directe de la mesure, résultant ou bien d'un laboratoire des étalons nationaux ou bien d'un laboratoire d'étalonnage accrédité, est démontrée. Une telle traçabilité inclut les programmes d'étalonnage de tous les artéfacts dans la chaîne d'étalonnage et les étalonnages détaillés de toutes les incertitudes (cumulatif) de transfert dans la chaîne d'étalonnage. L'utilisation d'une fibre de référence ou d'un étalon de travail seul pour comparer/contrôler l'étalonnage de l'ensemble d'essai CD n'établira ou ne rétablira pas la traçabilité, mais prolongera uniquement la durée de certification de traçabilité (période d'étalonnage) si aucune variation n'est trouvée

### 3.28

#### transfert

partie du processus d'étalonnage où, à la suite de la comparaison du paramètre approprié d'un artéfact étalonné à celui d'un ensemble d'essai CD, le résultat de l'artéfact est appliqué à l'ensemble d'essai CD.

Le transfert peut être effectué ou bien par ajustement de l'ensemble d'essai CD, ou bien par documentation d'un facteur d'étalonnage dans un certificat d'étalonnage

### 3.29

#### étalon de transfert

artéfact intermédiaire, par exemple un artéfact de retard [dispersion] ou de longueur d'onde utilisé pour étalonner de nouveaux étalons de travail d'un type correspondant

### 3.30

#### incertitude de transfert

estimation, caractérisant l'incertitude supplémentaire d'un ensemble d'essai CD entraînée par des incertitudes dans le processus d'étalonnage, à un niveau de confiance donné

NOTE Ces incertitudes peuvent provenir aussi bien des étalons ou artéfacts d'étalonnage que de l'ensemble d'essai CD.

where

$\lambda_c$  is the central wavelength (see 3.9) 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  $i^{\text{th}}$  longitudinal mode, in W;

$\lambda_i$  is the wavelength of  $i^{\text{th}}$  longitudinal mode, in nm.

### 3.26 standard uncertainty

standard deviation

uncertainty of a measurement result expressed as a standard deviation  $\sigma$

NOTE 1 For further information, refer to Annex A, and the *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*.

NOTE 2 In order to combine standard uncertainties from different sources (see Annex A) it is important that they are all stated at the same confidence level, i.e. for normally distributed data, at a confidence level of 68,3 %. This may be achieved by the use of each respective coverage factor  $k$  which is determined with reference to student's  $t$ -distribution for each individual uncertainty component.

### 3.27 traceability

ability to demonstrate, for a measurement result or a CD test set, an unbroken calibration chain originating from a national standard

CD test sets calibrated by the procedures of this standard are traceable. In the sense of this standard, direct traceability of the measurement result to either a national standards laboratory or to an accredited calibration laboratory is demonstrated. Such traceability includes the calibration schedules of all artefacts in the calibration chain and detailed calculations of all (cumulative) transfer uncertainties in the calibration chain. The use of a reference fibre or working standard alone to compare/monitor CD test set calibration will not establish or re-establish traceability, but only extend the duration of the traceability certification (calibration period) if no change is found.

### 3.28 transfer

part of the calibration process where, following comparison of the relevant parameter of a calibrated artefact to that of a CD test set, the artefact result is applied to the CD test set

Transfer may be performed either by adjustment of the CD test set, or by documentation of a calibration factor in a calibration certificate.

### 3.29 transfer standard

intermediary artefact, for example a delay [dispersion] or wavelength artefact used to calibrate new working standards of a corresponding type

### 3.30 transfer uncertainty

estimate, characterizing the additional uncertainty of a CD test set caused by uncertainties in the calibration process, at the given confidence level

NOTE These uncertainties may arise from the calibration standards or artefacts as well as from the CD test set.

### 3.31

#### **incertitude de type A**

l'incertitude de type A est obtenue par l'analyse statistique d'une série d'observations, comme lors de l'évaluation de certains effets aléatoires de mesure

(voir *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*)

### 3.32

#### **incertitude de type B**

l'incertitude de type B est obtenue par d'autres moyens que ceux de l'analyse statistique d'une série d'observations, par exemple une estimation des sources probables d'incertitudes, comme lors de l'évaluation des effets systématiques de mesure

(voir *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*)

NOTE Les autres moyens peuvent inclure des données de mesure précédentes, l'expérience avec ou la connaissance générale du comportement et des propriétés des matériels en question, des artefacts ou des instruments, des spécifications fabricants, des données fournies dans l'étalonnage et autres certificats, et des incertitudes assignées aux données de référence prises dans les manuels.

### 3.33

#### **limites d'incertitude**

limites de l'erreur permise (d'un instrument de mesure)

limites ou valeurs extrêmes de l'incertitude étendue permise par les exigences utilisateurs, les spécifications fabricants, les documents réglementaires, etc.

(voir l'ISO 10012)

### 3.34

#### **étalon de travail**

étalon, généralement étalonné par rapport à un étalon de référence ou de transfert, qui est utilisé pour une routine de base pour vérifier les ensembles d'essai CD

## **4 Etalonnage**

Cet article résume l'action d'étalonnage d'un ensemble d'essai de dispersion chromatique (CD) et détaille les recommandations pour les exigences environnementales du dispositif d'étalonnage.

### **4.1 Justification pour l'étalonnage des ensembles d'essai CD**

#### **4.1.1 Etalonnage (complet)**

Il existe deux aspects fondamentaux et communs aux diverses techniques de mesure de la dispersion chromatique (se référer à l'Annexe C):

- a) l'utilisation d'une série de longueurs d'onde sources d'essai connues (c'est-à-dire fixées) ou programmables (c'est-à-dire variables), injectées dans la (les) fibre(s) d'essai;
- b) la mesure électronique ou optique du retard d'impulsion, du déphasage, du déphasage différentiel ou de la position des pics des franges d'interférence (selon le type d'ensemble d'essai CD) produites par la (les) fibre(s) d'essai. La dispersion de la fibre est obtenue par des calculs appropriés sur les données mesurées.

Par essence, tous les ensembles d'essai de la dispersion chromatique utilisent la longueur d'onde comme une variable programmée (indépendante), généralement l'ordonnée (l'axe y) et la dispersion ou le retard en tant qu'abscisse (l'axe x) 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

**3.31****uncertainty type A**

type A uncertainty is obtained by statistical analysis of a series of observations, such as when evaluating certain random effects of measurement

(see *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*)

**3.32****uncertainty type B**

type B uncertainty is obtained by means other than a statistical analysis of a series of observations, for example an estimation of probable sources of uncertainty, such as when evaluating systematic effects of measurement

(see *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*)

NOTE Other means may include previous measurement data, experience with or general knowledge of the behavior and properties of relevant materials, artefacts and instruments, manufacturer's specifications, data provided in calibration and other certificates, and uncertainties assigned to reference data taken from handbooks.

**3.33****uncertainty limits**

limits of permissible error (of a measuring instrument)

bounds or extreme values of expanded uncertainty permitted by user requirements, manufacturer's specification, regulatory documentation, etc.

(see ISO 10012)

**3.34****working standard**

standard which, usually calibrated against a reference standard or transfer standard, is used on a routine basis to check CD test sets

**4 Calibration**

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

**4.1 Rationale for calibration of CD test sets****4.1.1 (Full) calibration**

There are two fundamental and common aspects of the various chromatic dispersion measurement techniques (refer to Annex C):

- a) the use of a series of known (i.e. fixed) or programmable (i.e. variable) source test wavelengths, injected into the test fibre(s);
- b) the electronic or optical measurement of the pulse delay, phase shift, differential phase shift or interference fringe peak position (according to CD test set type) produced by the test fibre(s). Fibre dispersion is obtained by appropriate calculations on the measured data.

In essence, all CD test sets operate with wavelength as a programmed (independent) variable, usually the ordinate (x-axis) and dispersion or time delay as the abscissa (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

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. Ceci rend simplement impossible le transfert de l'étalonnage d'un ensemble d'essai CD vers un autre en les soumettant à une seule source de dispersion appropriée, sauf si l'utilisation de l'ensemble d'essai CD est restreinte dans la plage des valeurs mesurées de la dispersion de la fibre (voir l'introduction). Au lieu de cela, il est donc nécessaire d'étalonner indépendamment la réponse de la longueur d'onde et du retard [dispersion] pour établir l'incertitude minimale possible de chaque ensemble d'essai CD.

Le processus d'étalonnage de l'ensemble d'essai CD doit donc être séparé en deux parties:

- a) assurer que les longueurs d'onde programmées sont étalonnées;
- b) soumettre l'ensemble d'essai CD à des retards [dispersions] connus de manière à étalonner la réponse du retard [dispersion].

Ces deux étapes séparées d'étalonnage sont généralement indépendantes mais il convient qu'elles soient toujours réalisées comme des opérations séquentielles unifiées. Les procédures détaillées sont données en 4.3.

Dans chaque cas, l'étalonnage est atteint en soumettant l'ensemble d'essai CD à des étalons ou artéfacts de transfert de longueur d'onde ou de retard [dispersion] indépendants. Ces étalons forment la chaîne d'étalonnage (Figure 1).

#### 4.1.2 Vérification de l'étalonnage

L'explication donnée en 4.1.1 décrit l'étalonnage (complet). Cependant, une vérification fonctionnelle classique de routine pour l'étalonnage (comme elle peut être effectuée fréquemment sur les ensembles d'essai CD en utilisation) peut être suffisante pour réaliser la vérification de l'étalonnage des ensembles d'essai CD en utilisant une fibre de référence comme un étalon de travail.

La distinction entre la vérification de l'étalonnage et l'étalonnage (c'est-à-dire le réglage des décalages correctifs, etc.) doit être clairement établie. Même si cela est suffisant pour établir la stabilité de l'ensemble d'essai CD en utilisant la fibre de référence, cela ne constitue pas un substitut à l'étalonnage réel (voir l'introduction). L'utilisation de cette fibre est décrite dans l'Article 7.

Il n'est pas possible d'utiliser la fibre de référence pour l'étalonnage complet pour les raisons suivantes:

- a) pour évaluer correctement la plage complète de la longueur d'onde et la plage de longueurs de la fibre de l'ensemble d'essai CD, plusieurs fibres de référence avec des dispersions différentes seraient nécessaires. Cela est cher, complexe et introduira une multitude de valeurs de transfert et de valeurs d'incertitudes d'étalonnage.
- b) les effets de l'ajustement des données et de la plage de longueurs d'onde utilisée sur la longueur d'onde,  $\lambda_0$ , la pente,  $S_0$ , à la dispersion nulle, et sur les valeurs de dispersion, signifient que la comparaison des systèmes doit être faite uniquement à l'intérieur de la plage de longueurs d'onde utilisée.
- c) la représentation « $\lambda_0$ -pente», bien que parfaitement adaptée pour une fibre, ne peut pas couvrir la possibilité qu'un ensemble d'essai CD donné présente un comportement non linéaire pour le retard [dispersion] ou la longueur d'onde – un essai plus complet pour les réponses du retard [dispersion] ou de la longueur d'onde de l'ensemble d'essai CD est exigé.
- d) la comparaison des ensembles d'essai CD en utilisant une fibre de référence exige une longueur normalisée pour utiliser cette fibre dans les mesures. Toutes les réductions physiques dans la longueur de la fibre (par exemple, par re-coupage) doivent être gardées en mémoire et prise en compte et elles représentent une source potentielle d'incertitude.



measured. This makes it impossible merely to transfer calibration from one CD test set to another by exposing them to a single appropriate dispersion source, unless the use of the CD test set is to be restricted in the range of fibre dispersion values measured (see introduction). Rather, it is necessary to independently calibrate wavelength and delay [dispersion] response to establish the minimum possible uncertainty in each.

The process of CD test set calibration shall therefore be broken down into two parts:

- a) ensuring that the programmed wavelengths are calibrated;
- b) exposing the CD test set, to known delays [dispersions] in order to calibrate the delay [dispersion] response.

These two separate calibration stages are generally independent but ideally should always be carried out as unified sequential operations. The detailed procedure is given in 4.3.

In each case, calibration is achieved by exposing the test set to independent transfer standards or artefacts of wavelength and delay [dispersion]. These standards form the calibration chain (Figure 1).

#### 4.1.2 Calibration checking

The rationale of 4.1.1 describes (full) calibration. However, typical routine operational calibration verification (such as may frequently be carried out on CD test sets in use) may be sufficient to perform calibration checking of CD test sets using a reference fibre as a working standard.

The distinction between calibration checking and calibration (i.e. adjustment of correction offsets, etc.) shall be clearly made. While it is sufficient to establish stability of the CD test set using the reference fibre, this is not a substitute for actual calibration (see introduction). The use of this fibre is described in Clause 7.

It is not possible to use the reference fibre for full calibration for the following reasons:

- a) To correctly evaluate the full wavelength range and fibre length range of the CD test set, several reference fibres with differing dispersions would be needed. This is expensive, complex and will introduce a multiplicity of transfer and calibration uncertainty values.
- b) The effect of the data fit and wavelength range used on the reference fibre zero dispersion wavelength,  $\lambda_0$ , slope,  $S_0$ , and dispersion values means that comparison of systems shall be made only within the wavelength range used.
- c) The " $\lambda_0$ -slope" representation, while perfectly adequate for a fibre, cannot cover the possibility that a given CD test set exhibits non-linear delay [dispersion] or wavelength behaviour – a more complete test of the delay [dispersion] and wavelength responses of the CD set is required.
- d) Comparison of CD test sets using a reference fibre requires a standard length value for that fibre to be used in the measurements. Any physical reduction in the length of the fibre (for example, by re-cleaving) shall be kept track of and accounted for and represents a source of potential uncertainty.

L'utilisation d'une fibre de référence permet d'étendre la traçabilité de l'étalonnage aux étalons nationaux, s'il peut être établi de manière satisfaisante que l'instrument et les décalages correctifs existants et les facteurs d'échelle, etc. sont suffisants pour fournir des résultats de dispersion à l'intérieur des limites d'incertitude applicables, sans altération. Cela signifie simplement que l'ensemble d'essai CD est resté stable depuis le dernier étalonnage réel. En effet, il est permis de prolonger la période d'étalonnage indéfiniment jusqu'au moment où la vérification d'étalonnage indique que l'ensemble d'essai CD a dérivé en dehors de ces limites d'incertitude. A ce moment, il convient qu'un ré-étalonnage complet soit exigé.

Il est anticipé que la fibre de référence soit aussi utilisée pour la comparaison, à distinguer de l'étalonnage, entre des ensembles d'essai CD sous des conditions (par exemple, contrôlé ou de référence), des longueurs d'onde d'essai, un type de fibre, des plages de longueurs de fibres, etc., identiques (voir l'Introduction).

## **4.2 Préparation pour l'étalonnage**

### **4.2.1 Conseil général et organisation**

Les recommandations suivantes s'appliquent.

Il convient que l'étalonnage soit réalisé, lorsque cela est possible, avec des installations indépendantes (se référer à l'ISO/CEI 17025) par rapport aux autres fonctions du laboratoire/ de l'organisation. Il convient que cette indépendance inclue l'équipement de mesure.

Les conditions d'environnement doivent répondre au degré d'incertitude exigé pour l'étalonnage:

- a) l'environnement doit être propre;
- b) la surveillance et le contrôle de la température sont exigés;
- c) la surveillance et le contrôle de l'humidité sont exigés;
- d) toutes les sources lasers doivent fonctionner de façon sûre (voir la CEI 60825-1).

Tous les étalons utilisés dans le processus d'étalonnage doivent être étalonnés selon un programme documenté, incluant leur traçabilité à des laboratoires d'étalons nationaux, ou des étalons accrédités (voir Figure 1). Il est préférable de maintenir plus d'un étalon pour chaque niveau hiérarchique de la chaîne d'étalonnage de manière à ce que la performance des étalons puisse être vérifiée en effectuant des comparaisons sur un même niveau.

Une procédure de mesure documentée doit être élaborée pour chaque type d'étalonnage réalisée, donnant les instructions fonctionnelles pas à pas et l'équipement à utiliser. Il convient que des feuilles modèles de résultats, des budgets d'incertitude et des certificats d'étalonnage soient faits.

Il convient que le laboratoire d'étalonnage exploite un système qualité approprié à la plage de mesures qu'il réalise (par exemple, l'ISO 9000). Il convient qu'un examen minutieux et indépendant des résultats de mesure, des étalonnages intermédiaires et de la préparation des certificats d'étalonnage soit fait.

### **4.2.2 Exigences environnementales d'essai**

Les exigences suivantes doivent être observées:

- a) tous les essais doivent être effectués à une température ambiante de  $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$  avec une humidité relative de  $(50 \pm 20)\%$ , sauf spécifications contraires;
- b) l'ensemble d'essai CD, l'appareillage et l'équipement d'essai doivent laisser 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 de n'importe quelle partie de la procédure d'étalonnage;

Use of a reference fibre allows calibration traceability to national standards to be extended, if it can be satisfactorily established that the instrument and existing correction offsets and scaling factors, etc. are sufficient to provide dispersion results within the applicable uncertainty limits without alteration. This simply means that the CD test set has remained stable since the last actual calibration. Indeed, it is permissible to extend the calibration period indefinitely until such time that the calibration checking indicates that the CD test set has drifted outside these uncertainty limits. At this point, full re-calibration would be required.

It is anticipated that the reference fibre be used also for comparison, as distinct from calibration, between CD test sets under identical (for example, controlled or reference) conditions, test wavelengths, fibre type, fibre length ranges, etc. (see Introduction).

## **4.2 Preparation for calibration**

### **4.2.1 General advice and organization**

The following recommendations apply:

Calibrations should be carried out where possible with facilities (refer to ISO/IEC 17025) that are independent of the other functions of the laboratory/ organization. This independence should include measurement equipment.

The environmental conditions shall be commensurate with the degree of uncertainty that is required for calibration:

- a) the environment shall be clean;
- b) temperature monitoring and control are required;
- c) humidity monitoring and control are required;
- d) all laser sources shall be safely operated (see IEC 60825-1).

All standards used in the calibration process shall be calibrated according to a documented programme with traceability to national standards laboratories or to accredited standards (see Figure 1). It is advisable to maintain more than one standard on each hierarchical level of the calibration chain so that the performance of standards can be verified by comparisons on the same level.

There shall be a documented measurement procedure for each type of calibration performed, giving step-by-step operating instructions and equipment to be used. There should be pro-forma result sheets, uncertainty budgets and calibration certificates.

The calibration laboratory should operate a quality system appropriate to the range of measurements it performs (for example, ISO 9000). There should be an independent scrutiny of measurement results, intermediary calculations and preparation of calibration certificates.

### **4.2.2 Test environmental requirements**

The following requirements shall be observed:

- a) all tests shall be performed at an ambient temperature of  $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$  with a relative humidity of  $(50 \pm 20)\%$  unless otherwise specified;
- 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) l'état de l'instrument de l'ensemble d'essai CD et de l'équipement d'essai doit être enregistré, une condition préalable pour une reproductibilité des mesures;
- d) il convient que les connecteurs et les ports d'entrée optique soit toujours nettoyés avant la mesure.

Au moment du transfert de l'étalonnage, certaines incertitudes dans l'artéfact d'étalonnage, qui n'étaient pas présentes lors de sa production, peuvent exister, par exemple le vieillissement, la différence de température, le niveau de puissance optique, les réflexions optiques, etc. Dans chaque cas, l'incertitude de transfert utilisant l'artéfact d'étalonnage doit être ajoutée aux incertitudes de l'artéfact de chaque source possible.

#### 4.2.3 Exigences de l'équipement de mesure

- *Etalonnage*

L'étalonnage de l'équipement d'essai traçable selon des laboratoires des étalons nationaux ou internationaux est obligatoire. Les essais décrits exigent l'utilisation de certains ou de tous les points suivants:

- a) un atténuateur optique variable;
- b) un dispositif de mesure de la longueur d'onde (par exemple, un analyseur de spectre optique ou un ondemètre) pour des sources discrètes de longueurs d'onde telle que des lasers;
- c) un moyen d'étalonnage de la longueur d'onde (par exemple, un laser He-Ne ou une longueur d'onde normalisée) 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].

- *Vérification de l'étalonnage*

Pour vérifier l'étalonnage, une fibre de référence avec des valeurs de dispersion traçables est exigée.

#### 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 un chaîne 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 Article 8).

#### 4.3 Procédure d'étalonnage

Les méthodes d'étalonnage pour tous les types d'ensemble d'essai CD possèdent un thème commun, c'est-à-dire à étalonner indépendamment et séquentiellement

- a) la (les) longueur(s) d'onde de la source (programmée(s)), et
- b) la réponse du retard [dispersion] de l'ensemble.

Dans chaque cas, le décalage correctif, le facteur d'échelle et la linéarité doivent être déterminés.

L'utilisateur doit premièrement établir quel type de source(s) de lumière (par exemple des lasers ou des LED/filtre/monochromateur) est utilisée et quelle technique de mesure est utilisée dans l'ensemble d'essai CD en utilisation.

- 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.

At the time of calibration transfer, there may be some uncertainty in the calibration artefact that was not present at its generation, for example ageing, temperature difference, optical power level, optical reflections, etc. In each case, the transfer uncertainty using the calibration artefact shall be accumulated from the uncertainties of the artefact from each possible source.

#### 4.2.3 Measurement equipment requirements

- *Calibration*

Calibration of test equipment traceable to national or international standards laboratories 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 (for example, optical spectrum analyzer or wavemeter) for discrete wavelength sources such as lasers;
- c) a wavelength calibration means (for example, He-Ne laser or wavelength standard) for tunable monochromator based systems;
- d) an optical delay line artefact [differential optical delay line artefact] for delay [dispersion] calibration.

- *Calibration checking*

For calibration checking, a reference fibre with traceable dispersion data values is required.

#### 4.2.4 Traceability

Ensure that all test equipment which has significance to the calibration result has been calibrated in an unbroken 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 8).

#### 4.3 Calibration procedure

The calibration methods for all types of CD test sets have a common theme, namely to independently and sequentially calibrate

- a) the (programmed) source wavelength(s), and
- b) the delay [dispersion] response of the set.

In each case correction offset, scaling factor and linearity shall be determined.

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 in use.

NOTE Certains ensembles d'essai CD peuvent réaliser plusieurs techniques de mesure, auquel cas il convient nécessairement d'étalonner séparément l'ensemble d'essai CD pour toutes les techniques de mesure utilisées, sous les auspices de la présente norme.

Pour chaque étalonnage de l'ensemble d'essai CD, la procédure détaillée ci-dessous doit être réalisée de manière séquentielle:

a) utiliser la procédure appropriée à la méthode de mesure de l'ensemble d'essai CD pour l'étalonnage du paramètre de longueur d'onde (voir Article 5):

- 1) pour des systèmes de sources discrètes de longueurs d'onde, utiliser la procédure décrite en 5.2;
- 2) pour des systèmes de sources accordables de manière continue, utiliser la procédure décrite en 5.3.

Calculer tous les réglages d'étalonnage correspondants pour l'étalonnage de la longueur d'onde. Appliquer cela à l'ensemble d'essai CD (typiquement par des réglages matériels et/ou logiciels appropriés [CEI 62129]) pour garder l'incertitude de longueur d'onde à l'intérieur des limites spécifiées;

b) en utilisant l'équipement approprié à la méthode de mesure de l'ensemble d'essai CD, étalonner le paramètre de retard [dispersion] en utilisant la procédure décrite en 6.3.

Calculer tous les réglages d'étalonnage correspondants pour l'étalonnage du retard [dispersion]. Appliquer cela à l'ensemble d'essai CD (typiquement par des réglages matériels et/ou logiciels appropriés) pour garder l'incertitude de retard [dispersion] à l'intérieur des limites spécifiées;

c) reporter et enregistrer les résultats de l'étalonnage dans un certificat conformément à l'Article 8. L'ensemble d'essai CD est maintenant complètement étalonné par rapport aux étalons nationaux avec l'incertitude spécifiée.

NOTE Les décalages d'étalonnage et les facteurs d'échelle peuvent être utilisés pour régler manuellement les résultats 'bruts' à partir de l'ensemble d'essai CD (non réglé).

#### 4.4 Procédure de vérification de l'étalonnage

Cette procédure est utilisée pour vérifier l'étalonnage d'un ensemble d'essai CD qui a déjà été étalonné en accord avec 4.3. Tant que la mesure de la fibre de référence ne révèle pas une incertitude de dispersion plus grande que les limites d'incertitude appropriées, cette vérification d'étalonnage peut être utilisée pour prolonger la période d'étalonnage.

Les procédures et les rapports exacts sont détaillés à l'Article 7.

## 5 Procédure d'étalonnage de la longueur d'onde

### 5.1 Généralités

Cet article 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 (les) longueur(s) d'onde centrale(s) utilisée(s) 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 5.2; pour les sources variables (accordables) de manière continue, voir 5.3. Dans les deux cas, voir 5.4 pour reporter les résultats d'étalonnage.

NOTE 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 standard.

For each CD test set calibration, the following outline procedure shall be performed in sequence:

a) Use the procedure appropriate to the CD test set measurement method for calibration of the wavelength parameter (see Clause 5):

- 1) for discrete wavelength source systems, use the procedure of 5.2;
- 2) for continuously tunable source systems, use the procedure of 5.3.

Calculate all the relevant calibration adjustments for the wavelength calibration. Apply these to the CD test set (typically by appropriate hardware and/or software adjustments [IEC 62129]) to achieve wavelength uncertainty within the specified limits;

b) Using equipment appropriate to the CD test set measurement method, calibrate the delay [dispersion] parameter using the procedure of 6.3.

Calculate all the relevant calibration adjustments for the delay [dispersion] calibration. Apply these to the CD test set (typically by appropriate hardware and/or software adjustments) to achieve delay [dispersion] uncertainty within the specified limits.

c) Report and record on a certificate, the calibration results according to Clause 8. The CD test set is now fully calibrated to national standards with the specified uncertainty.

NOTE Calibration offsets and scaling factors may be used to manually adjust the 'raw' results from the (unadjusted) CD test set.

#### **4.4 Calibration checking procedure**

This procedure is used for checking the calibration of a CD test set that has already been calibrated according to 4.3. So long as the reference fibre measurement does not reveal dispersion uncertainty greater than the appropriate uncertainty limits, that the calibration check can be used to extend the calibration period.

The exact procedures and reporting are detailed in Clause 7.

## **5 Wavelength calibration procedure**

### **5.1 General**

This clause 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 central 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 5.2; for continuously variable (tunable) sources see 5.3. In either case see 5.4 to report the calibration results.

## 5.2 Sources discrètes

La plupart des 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 avant par rapport aux étalons traçables. Dans ces instruments, la procédure suivante doit être utilisée:

- a) établir que les exigences des équipements d'essai sont satisfaites (voir 4.2.3);
- b) établir que les conditions d'environnement d'essai sont satisfaites (voir 4.2.2);
- c) positionner l'instrument de l'ensemble d'essai CD vers les réglages appropriés pour les procédures d'étalonnage (voir 4.2.2);
- d) se référer à l'Annexe B pour considérer 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 appareil de mesure de longueurs d'onde;
  - 3) un système de détection qui utilise un monochromateur.
- f) pour chaque source discrète, mesurer la longueur d'onde centrale  $\lambda_c$  et la largeur de bande spectrale B (comme définies respectivement en 3.9 et en 3.25);
- g) la possibilité du décalage de la longueur d'onde sous différentes conditions de modulation de la source (fluctuation) doit être prise 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 façon que dans l'évaluation suivante des incertitudes de dispersion, la (les) valeur(s) correcte(s) d'incertitude doit (doivent) être utilisée(s). Utiliser la longueur d'onde centrale  $\lambda_c$  et la largeur de bande spectrale B pour l'étalonnage suivant du retard et/ou de la courbe de dispersion. Les techniques de mise en place de l'incertitude de longueur d'onde adaptée sont décrites dans la CEI 62129;
- h) les longueurs d'onde certifiées de la source choisie sont à utiliser dans le calcul de la relation d'accord du monochromateur (courbe d'étalonnage).

## 5.3 Sources accordables

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 par l'une des 3 méthodes (voir 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3) ou par une combinaison des trois comme détaillé ci-dessous. Tous les appareils utilisés dans ces procédures, ainsi que tous les artéfacts, équipements ou appareils supplémentaires, doivent être étalonnés par rapport aux étalons traçables.

NOTE Dans tous les cas de filtres ou de sources normalisés, il convient que la largeur de bande spectrale soit de 5 nm ou moins en FWHM. De la même manière, il convient que la résolution spectrale et les appareils de mesure de la longueur d'onde répondent à l'incertitude de longueur d'onde exigée.

### 5.3.1 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.



## 5.2 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;
  - 3) a monochromator based detection system.
- f) for each discrete source, measure the central wavelength  $\lambda_c$  and the spectral bandwidth B (as defined in 3.9 and 3.25 respectively);
- g) the possibility of wavelength shift under different conditions of source modulation (chirp) shall be taken into account. 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 central wavelength  $\lambda_c$  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;
- h) the certified wavelengths of the source(s) chosen are to be used in the calculation of the monochromator tuning relation (calibration curve).

## 5.3 Tunable sources

For CD test sets employing continuously variable (tunable) 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 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3), 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.

NOTE 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.

### 5.3.1 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) Chaque source de lumière externe connue doit être étalonnée, stable, de longueur d'onde bien définie et de caractère de segment discret. 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 l'entraînement du monochromateur pour couvrir complètement la plage de longueurs d'onde de l'ensemble d'essai CD [CEI 62129]. Il est aussi possible d'obtenir des points d'étalonnage en utilisant une source (large bande) appropriée et un monochromateur étalonné connu. Il convient que la largeur spectrale des sources, quel que soit le cas, soit inférieure à 5 nm (voir B.1.2).
- b) On doit veiller à s'assurer que le chemin optique de l'artéfact d'étalonnage reproduit exactement les conditions normales de fonctionnement 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 des 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) Positionner l'instrument de l'ensemble d'essai CD vers les réglages appropriés pour les procédures d'étalonnage (voir 4.2.2).
- f) Se référer à l'Annexe B pour considérer les effets et les origines techniques des sources d'incertitude.
- g) Pour chaque réglage de la longueur d'onde source ou de l'ordre de diffraction, la longueur d'onde centrale  $\lambda_c$  et la largeur de bande spectrale B doivent être mesurées (voir les définitions 3.9 et 3.25).
- h) L'évaluation des incertitudes individuelles des longueurs d'onde 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 façon que dans l'évaluation des incertitudes de dispersion qui suit, la ou les valeurs correctes d'incertitude doivent être utilisées. Les techniques de mise en place de l'incertitude de longueur d'onde adaptée sont décrites dans la CEI 62129.
- i) Les longueurs d'onde certifiées de la source choisie sont à utiliser dans le calcul de la relation d'accord du monochromateur (courbe d'étalonnage).

### 5.3.2 Méthode B

Cette méthode introduit des artéfacts d'étalonnage, tels qu'un étalon ou un nombre suffisant de filtres optiques, de longueurs d'onde centrales connues dans le chemin optique de l'ensemble d'essai CD, typiquement à la place de la fibre d'essai elle-même. 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 de la barre sinusoïdale 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 centrales étalonnées placés dans l'alignement du monochromateur source CD et du détecteur. Un nombre suffisant de longueurs d'onde doit être utilisé. La résolution spectrale du monochromateur et/ou filtre/étalon doit être suffisante pour résoudre les points d'étalonnage avec l'incertitude exigée. Il peut être exigé d'effectuer des réglages appropriés au niveau de l'ensemble d'essai CD pour atteindre cela.
- b) On doit veiller à s'assurer que le chemin optique de l'artéfact d'étalonnage reproduit exactement les conditions normales de fonctionnement 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 des équipements d'essai sont satisfaites (voir 4.2.3).

- 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 [IEC 62129]. 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 B.1.2).
- b) Care shall be taken to 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 central wavelength  $\lambda_c$  and spectral bandwidth B (see 3.9 and 3.25) 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.
- i) The certified wavelengths of the source(s) chosen are to be used in the calculation of the monochromator tuning relation (calibration curve).

### 5.3.2 Method B

This method inserts calibration artefacts, such as an etalon or a sufficient number of optical filters, of known central 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 standard may take the form of bandpass filters or etalons of calibrated central 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. It may be required to make appropriate adjustments to the CD test set to achieve this.
- b) Care shall be taken to 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) Etablir que les conditions d'environnement d'essai sont satisfaites (voir 4.2.2).
- e) Positionner l'instrument de l'ensemble d'essai CD vers les réglages appropriés pour les procédures d'étalonnage (voir 4.2.2).
- f) Se référer à l'Annexe B pour considérer les effets et les origines techniques des sources d'incertitude.
- g) L'utilisation successive de chacun(e) des sources/filtres permet d'adapter une loi d'étalonnage détaillée d'entraînement du monochromateur aux points de donnée.
- h) Un nombre suffisant de longueurs d'onde filtre/source doivent être utilisées et peuvent être choisies pour se situer à l'intérieur des gammes d'ondes habituelles à 1 310/1 550 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 centrale  $\lambda_c$  et la largeur de bande spectrale B doivent être mesurées comme défini respectivement en 3.9 et 3.25.
- 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 calculé, doit être réalisée. L'incertitude de longueur d'onde peut varier avec la longueur d'onde réelle (région) utilisée, de façon que dans l'évaluation suivante des incertitudes de dispersion, la (les) valeur(s) correcte(s) d'incertitude doit (doivent) être utilisée(s). Les techniques de mise en place de l'incertitude de longueur d'onde adaptée sont décrites dans la CEI 62129.
- l) Les longueurs d'onde certifiées de la source choisie doivent être utilisées dans le calcul de la relation d'accord du monochromateur (courbe d'étalonnage).

### 5.3.3 Méthode C

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

NOTE La largeur spectrale du monochromateur est typiquement inférieure à 5 nm (voir B1.2) et il faut qu'une résolution spectrale suffisante à l'intérieur de l'ensemble d'essai CD soit assurée.

- a) Pour divers réglages agréés de longueur d'onde du monochromateur de l'ensemble d'essai CD, réaliser une mesure de la longueur d'onde émanant du monochromateur de l'ensemble d'essai CD en utilisant un analyseur de spectre optique, un appareil de mesure de la longueur d'onde ou un système de détection utilisant un monochromateur.
- b) On doit veiller à s'assurer que le chemin optique de l'artéfact d'étalonnage reproduit exactement les conditions normales de fonctionnement 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 des 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) Positionner l'instrument de l'ensemble d'essai CD vers les réglages appropriés pour les procédures d'étalonnage (voir 4.2.2).
- f) Se référer à l'Annexe B pour considérer les effets et les origines techniques des sources d'incertitude.
- g) Il est important d'évaluer l'incertitude due aux conditions d'injections dans l'appareil de mesure de la longueur d'onde chaque fois que la lumière est injectée.
- h) Pour chaque longueur d'onde utilisée, la longueur d'onde centrale  $\lambda_c$  et la largeur de bande spectrale B de la lumière de l'ensemble d'essai CD doivent être mesurées comme défini en respectivement 3.9 et 3.25.
- i) Les longueurs d'onde centrales et les largeurs spectrales doivent avoir les valeurs utilisées pour l'évaluation de la relation d'accord du monochromateur (courbe d'étalonnage).

- 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 law 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 central wavelength  $\lambda_c$  and spectral bandwidth B shall be measured as defined in 3.9 and 3.25, 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.
- l) The certified wavelengths of the source(s) chosen shall be used in the calculation of the monochromator tuning relation (calibration curve).

### 5.3.3 Method C

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

NOTE The spectral width of the monochromator is typically less than 5 nm (see B.1.2), and sufficient spectral resolution within the CD test set must 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) Care shall be taken to 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 central wavelength  $\lambda_c$  and spectral bandwidth B of the CD test set light shall be measured as defined in 3.9 and 3.35, respectively.
- i) The central wavelengths and spectral widths shall be the values used for evaluation of the monochromator tuning relation (calibration curve).

- 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 façon que dans l'évaluation suivante des incertitudes de dispersion, la (les) valeur(s) correcte(s) d'incertitude doit (doivent) être utilisée(s). Les techniques de mise en place de l'incertitude de longueur d'onde adaptée sont décrites dans la CEI 62129.
- k) Les longueurs d'onde certifiées de la source choisie sont à utiliser dans le calcul de la relation d'accord du monochromateur (courbe d'étalonnage).

#### 5.4 Incertitudes et rapport

Se référer aux Annexes A et B pour une discussion respectivement sur les incertitudes de manipulation et les sources d'incertitudes concernant l'étalonnage de la longueur d'onde.

Se référer à l'Article 8 pour des détails sur le rapport des résultats d'étalonnage.

## 6 Procédure d'étalonnage du retard [dispersion]

### 6.1 Généralités

Cet article décrit les procédures d'étalonnage du retard [dispersion] dans les ensembles d'essai CD. La procédure est décrite en 6.3 et le rapport en 6.4

### 6.2 Equipement et préparation

Ce paragraphe décrit les artéfacts de retard [dispersion] et leurs utilisations.

Pour caractériser la réponse de la propagation optique du retard [dispersion] d'un système complet CD, il est nécessaire de simuler le retard de la fibre [dispersion] en utilisant un montage optique étalonné. Ceci est dû au fait que les changements du retard sur la plage de longueurs d'onde concernée sont trop petits pour être établis 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 à miroirs en coin (Figures 2 et 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 C) sont étalonnés en utilisant un «simulateur» de dispersion (par exemple la Figure 3, composée d'une ligne de retard optique fixe et d'une ligne de retard optique variable chacun 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 simple ligne de retard comme cela est représenté par la Figure 2 qui simule le temps de retard dans la fibre.

Dans l'artéfact, un déplacement du miroir/prisme d'une quantité  $x$  change les résultats dans le retard [dispersion] optique de  $2x/c$  s, où  $c$  est la vitesse de la lumière dans l'air. Il en résulte un retard d'impulsion, un décalage de phase, un décalage de la position des franges d'inférence ou un déphasage différentiel correspondants, qui sont observés par l'ensemble d'essai CD. En répétant les mesures pour chaque position du miroir/prisme utilisé, cela permet d'établir, pour un ensemble d'essai CD, une courbe du retard [dispersion] en fonction du temps de retard réel.

- 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.
- k) The certified wavelengths of the source(s) chosen are to be used in the calculation of the monochromator tuning relation (calibration curve).

#### **5.4 Uncertainties and reporting**

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

Refer to Clause 8 for details of calibration results reporting.

### **6 Delay [dispersion] calibration procedure**

#### **6.1 General**

This clause describes procedures for calibration of delay [dispersion] in CD test sets. The procedure is described in 6.3, and reporting in 6.4.

#### **6.2 Equipment and preparation**

This subclause describes the delay [dispersion] artefacts and their use.

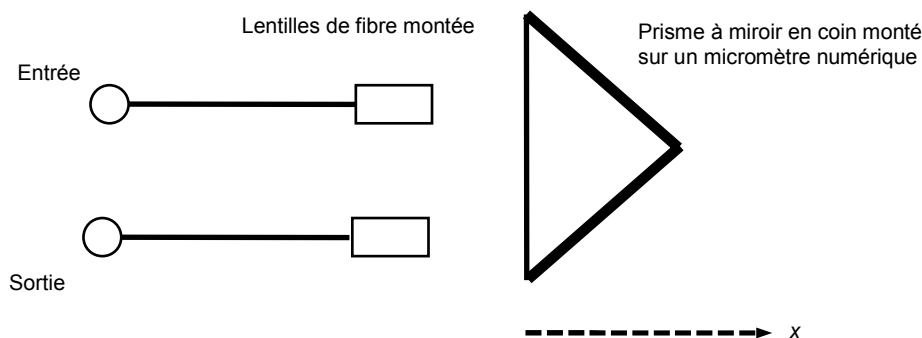
In order to characterize the optical propagation delay [dispersion] response of a complete CD system, it is necessary to simulate the fibre delay [dispersion] using a calibrated optical set-up. This is because the delay changes over the wavelength range involved are too small to be established electronically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

The principle is to use a variable optical delay line artefact formed by a moving mirror or mirrored corner prism (Figures 2 and 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 C) 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 such as shown in Figure 2 which simulates the delay time in the fibre.

In the artefact, a displacement of the mirror/prism by an amount  $x$  results in a optical delay [dispersion] change of  $2x/c$  s, where  $c$  is the velocity of light in air. 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.



IEC 1330/05

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

La technique de ligne de retard optique est traçable par rapport aux étalons nationaux étant donné que  $c$  est, pour cet objectif, indépendant de la longueur d'onde, alors 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 (Figures 2 et 3) doit être au moins assez long pour couvrir la plage complète des valeurs de retard [dispersion] relatif rencontrée 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.

**6.2.1 Ensembles d'essai CD de retard d'impulsion**

Pour les ensembles d'essai CD du 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 est fait pour s'assurer que la réponse totale du retard est linéaire avec la même incertitude d'échelle pour des valeurs de retard typiques relatives et absolues rencontrées dans des essais de fibre typiques

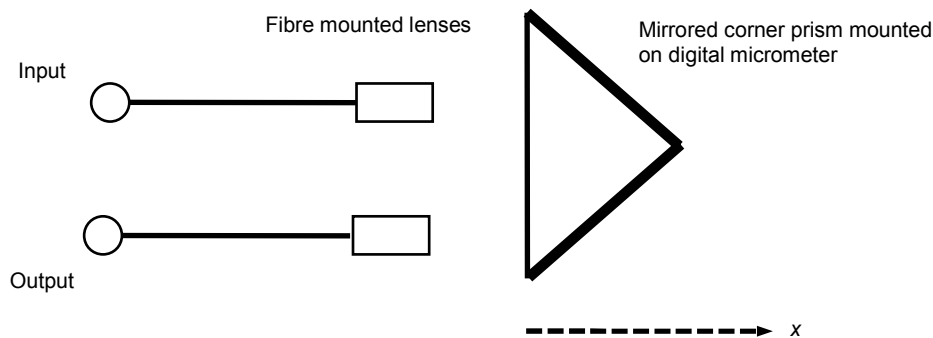
**6.2.2 Ensembles d'essai CD de déphasage**

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

**6.2.3 Ensembles d'essai CD interférométrique**

Pour les systèmes interférométriques, 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 est fait pour s'assurer que la réponse entière du retard est linéaire avec la même incertitude d'échelle pour toutes les valeurs totales de retard rencontrées dans des essais normaux. L'artéfact de ligne de retard (Figure 2) doit avoir une plage suffisante pour couvrir la plage entière attendue de retard de l'instrument.





IEC 1330/05

**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, for this purpose, 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 (Figures 2 and 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.

### 6.2.1 Pulse delay CD test sets

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.

### 6.2.2 Phase shift CD test sets

For phase shift CD test sets, the delay line artefact (Figure 2) shall have sufficient range to cover an entire phase cycle ( $2\pi$ ) of the RF modulation frequency and shall be used several times with different phase conditions at the origin, spaced over the entire phase cycle ( $2\pi$ ) 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.

### 6.2.3 Interferometric CD test sets

For interferometric systems 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 all total delay values encountered in normal tests. The delay line artefact (Figure 2) shall have sufficient range to cover the entire expected instrument delay range.

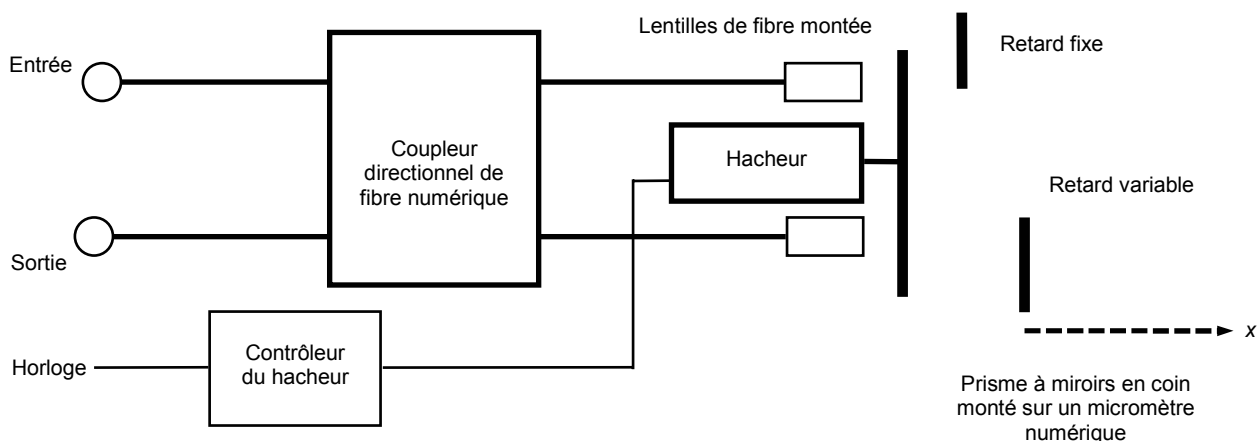
### 6.2.4 Ensembles d'essai CD de déphasage différentiel

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 par le principe de différences entre retards:*

Il convient que ces ensembles d'essai CD soit étalonnés en utilisant l'appareillage semblable à celui montré à la Figure 2. L'artéfact de ligne de retard doit être utilisé sur une plage suffisante pour couvrir un cycle de phase complet ( $2\pi$ ) d'une fréquence de modulation RF.
- systèmes à déphasage différentiel employant une méthode de modulation en longueur d'onde:*

Ils doivent utiliser un appareillage semblable à celui montré à la Figure 3. La ligne de retard doit être utilisée sur une plage suffisante pour couvrir un cycle de phase différentielle complet ( $2\pi$ ) d'une fréquence de modulation RF.



IEC 1331/05

**Figure 3 – Simulateur typique de retard [dispersion] différentiel pour l'étalonnage d'un l'ensemble d'essai CD**

### 6.3 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 de perte de la fibre sont représentées.

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

- établir que les exigences des équipements d'essai sont satisfaites (voir 4.2.3);
- établir que les conditions d'environnement d'essai sont satisfaites (voir 4.2.2);
- positionner l'instrument de l'ensemble d'essai CD vers les réglages appropriés pour les procédures d'étalonnage (voir 4.2.2);
- se référer à l'Annexe B pour considérer les effets et les origines techniques des sources d'incertitudes – des précautions doivent être prises pour n'exclure aucune des incertitudes (par exemple, température, vieillissement, etc.) associées aux artéfacts de retard [dispersion];

### 6.2.4 Differential phase shift CD test sets

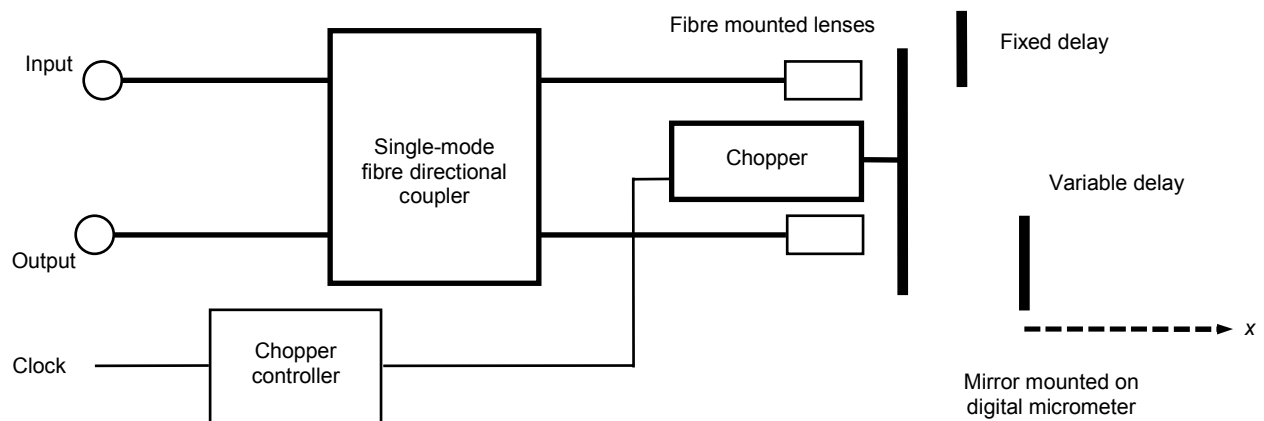
Dispersion response for differential phase shift systems is calibrated using the optical delay line principle. The method used differs slightly for the type of differential phase shift method used in the CD test set.

- *Differential phase shift systems which operate by the principle of differences between delays:*

These CD test sets should be calibrated using the apparatus similar to that shown in Figure 2. The delay line artefact shall be used over sufficient range to cover an entire phase cycle ( $2\pi$ ) of the RF modulation frequency.

- *Differential phase shift systems employing the wavelength modulation method:*

These shall use apparatus similar to that shown in Figure 3. The delay line shall be used over sufficient range to cover an entire differential phase cycle ( $2\pi$ ) of the RF modulation frequency.



IEC 1331/05

**Figure 3 – Typical differential delay [dispersion] simulator for CD test set calibration**

### 6.3 Calibration procedure

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 taken into account. This ensures that variations of fibre loss or coupling efficiency are represented.

The calibration is common to all types of CD test set and is carried out as follows:

- 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 – care shall be taken to allow for all uncertainties (including for example, temperature, ageing, etc.) associated with the delay [dispersion] artefacts;

- e) sélectionner une longueur d'onde spécifique fonctionnelle pour l'étalonnage (par exemple, 1 310 nm);
- f) installer la ligne de retard (voir Figure 2 ou 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;
- g) Déplacer le miroir/prisme le long à des pas régulièrement espacés et mesurer le retard, le déphasage, le décalage des franges d'interférence ou le déphasage différentiel à chaque pas. Afin de réduire l'effet du bruit, ces mesures doivent être effectuées en moyennant suffisamment de données. Un nombre suffisant de pas de 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 du déphasage ou du déphasage différentiel équivalente. Si applicable, 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  $2/c$ , du retard [retard différentiel], du déphasage, du décalage des franges d'interférence ou du déphasage différentiel en fonction de la position du miroir  $x$ ;
- h) Utiliser une régression linéaire aux moindres carrés pour obtenir la meilleure ligne ajustée;
- i) il convient que la pente,  $s/l$  et l'interception [décalage correctif,  $CO$ ] de l'ajustement soient évaluées en utilisant les méthodes normales de mise en place des données et de ces valeurs enregistrées. Le facteur d'échelle du retard [retard différentiel]  $SF_{del}$  est défini comme

$$SF_{del} = [s/l \times c/2] \quad (5)$$

Toute non-linéarité visible (ou résidus d'ajustement de données de largeur excessive) ou bruit représente des sources potentielles d'incertitude. Le facteur d'échelle du retard [retard différentiel]  $SF_{del}$  peut être utilisé pour faire les ajustements de l'ensemble d'essai CD. La procédure ci-dessus peut être répétée plusieurs fois pour établir une valeur d'échelle d'incertitude 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 réalisé (voir l'Article 8 et l'Annexe A).

## 6.4 Incertitudes et rapport

Se référer à l'Annexe A, qui aborde la façon de traiter les incertitudes de manipulation et à l'Annexe B, qui étudie les sources d'incertitudes concernant l'étalonnage du retard [dispersion].

Se référer à l'Article 8 pour des détails sur le rapport des résultats d'étalonnage.

## 7 Procédure de vérification de l'étalonnage

### 7.1 Généralités

L'Article 7 décrit les procédures détaillées de vérification de l'étalonnage pour tout ensemble d'essai CD en utilisant une fibre de référence. Les critères de sélection pour la fibre de référence sont donnés en 7.2 et 7.3 et la Figure 4 décrit le processus d'étalonnage de comparaison des ensembles d'essai CD en utilisant une fibre de référence.

Le paragraphe 8.5 traite de la génération de nouvelles fibres de référence afin de fournir de nouveaux artefacts transférables pour la vérification d'étalonnage. La Figure 5 montre le processus de génération d'une nouvelle fibre de référence.

- e) select a specific operating wavelength for the calibration (for example, 1 310 nm);
- f) set the delay line (see Figures 2 or 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,  $s/$  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

$$SF_{del} = [s/ \times c/2] \quad (5)$$

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 8 and Annex A).

## 6.4 Uncertainties and reporting

Refer to Annexes A and B for discussion on handling uncertainties and sources of uncertainty pertaining to delay [dispersion] calibration, respectively.

Refer to Clause 8 for details of calibration results reporting.

## 7 Calibration checking procedure

### 7.1 General

This clause describes the detailed procedure of checking calibration of any CD test set using a reference fibre. The selection criteria for the reference fibre are given in 7.2 and 7.3 and Figure 4 describe the calibration process of comparing CD test sets using a reference fibre.

Subclause 8.5 deals with the generation of new reference fibres to provide new transferable calibration checking artefacts. Figure 5 shows the process of generating a new reference fibre.

## 7.2 Equipement et préparation

Le choix d'une fibre comme fibre de référence potentielle n'est pas critiquable mais généralement la fibre

- a) devrait être une fibre normalisée et étalonnée par un laboratoire national d'essai, ou une fibre normalisée et générée par un ensemble d'essai CD connue afin d'être correctement étalonnée;
- b) doit avoir des niveaux d'affaiblissement bas ou modérés;
- c) doit avoir une bonne homogénéité longitudinale et des propriétés 'typiques' pour le type de fibre (voir l'Annexe C) telles que le diamètre du champ de mode, dispersion etc.;
- d) devrait idéalement être prise à partir de la même unité de production que l'ensemble d'essai CD qui lui sera rattaché, au moins pour les applications QA;
- e) devrait être plus longue que la longueur minimale mesurable pour l'ensemble d'essai CD, c'est-à-dire >1 km mais inférieure significativement à la longueur maximale, par exemple <25 km, de manière que la répétabilité de la mesure de la dispersion soit presque optimale. Dans le cas des méthodes interférométriques, il convient que la longueur de la fibre soit celle exigée par l'unité (plusieurs mètres);
- f) devrait être protégée de manière adéquate des facteurs d'environnement telles que la poussière, les variations de tension d'enroulement, les courants d'air et les dommages physiques et elle peut être placée optionnellement à l'intérieur d'une enceinte à environnement contrôlé.

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

## 7.3 Procédure

Réaliser la vérification d'étalonnage en utilisant la procédure suivante (se référer à la Figure 4):

- a) Etablir que les exigences des 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 l'état de l'ensemble des instruments de l'essai CD avec un réglage approprié pour les procédures d'étalonnage (voir 4.2.2).
- d) Se référer à l'Annexe B pour considérer les effets et les origines techniques des sources d'incertitude.
- e) Présenter la fibre de référence (normalisée) à l'ensemble d'essai CD à l'étude. Utiliser la valeur de la longueur normalisée de la fibre de référence et toutes les corrections de longueur pour retirer la fibre pendant la préparation.
- f) Déterminer la longueur d'onde  $\lambda_0$  et la pente  $S_0$  de la fibre à la dispersion nulle, en utilisant l'ajustement de données et la plage de longueurs d'onde appropriée. Si nécessaire, répéter la mesure plusieurs fois pour égaliser les incertitudes de type A.
- g) Comparer la longueur d'onde et la pente moyennes obtenues, à la dispersion nulle, avec les valeurs de référence. Il convient que ces polarisations soient spécifiés dans les résultats d'étalonnage. Comparer aussi les valeurs de dispersion et les résidus de l'ajustement des données (si utilisé) pour toutes anomalies. Il est nécessaire d'évaluer l'incertitude des valeurs de la fibre de référence et ensuite d'évaluer l'incertitude successive (cumulative) de transfert (voir Figure 4). Si les limites d'incertitude ne sont pas atteintes, alors la période d'étalonnage peut être prolongée et un nouveau certificat publié (voir 7.4 et Article 8). Si l'incertitude résultante de l'ensemble d'essai CD tombe en dehors des limites spécifiées du certificat d'étalonnage existant (voir Article 8), alors l'étalonnage complet est exigé.
- h) Rechercher les anomalies, et si nécessaire, réaliser un étalonnage complet pour corriger la situation.

## 7.2 Equipment and preparation

The choice of fibre as a potential reference fibre is not critical but generally the fibre

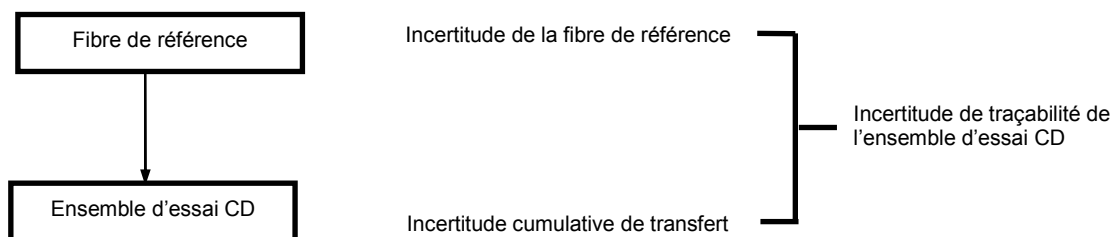
- a) should be a standard calibrated fibre calibrated by a national standards laboratory, or a standard fibre generated on a CD test set known to be correctly calibrated;
- b) shall have low or moderate attenuation levels;
- c) shall have good longitudinal homogeneity and 'typical' properties for the fibre type (see Annex C) such as mode field diameter, dispersion etc.;
- d) should ideally be taken from the same production unit that the CD test set will be attached to, at least for QA applications;
- e) 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. In the case of interferometric methods, the fibre length should be that required by the unit (several metres);
- f) should be adequately protected from environmental factors such as dust, winding tension variations, air currents and physical damage and may optionally be placed within an environmentally controlled enclosure.

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

## 7.3 Procedure

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

- 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) Present the reference (standard) fibre to the CD test set under consideration. Use the reference fibre standard length value and any length corrections for removal of fibre during preparation.
- f) Determine zero dispersion wavelength  $\lambda_0$  and slope  $S_0$  of the fibre using the appropriate data fit and wavelength range. If necessary, repeat the measurement several times to average out uncertainties type A.
- g) Compare the average zero dispersion wavelength and slope obtained with the reference values. These biases should be specified in the calibration results. Compare also 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). If the uncertainty limits are not exceeded, then the calibration period may be extended and a new certificate issued (see 7.4 and Clause 8). If the resultant uncertainty of the CD test set falls outside the specified limits of its existing calibration certificate (see Clause 8), then full calibration is required.
- h) Investigate abnormalities and, if necessary, perform a full calibration to correct the situation.



IEC 1332/05

**Figure 4 – Comparaison de fibres de référence**

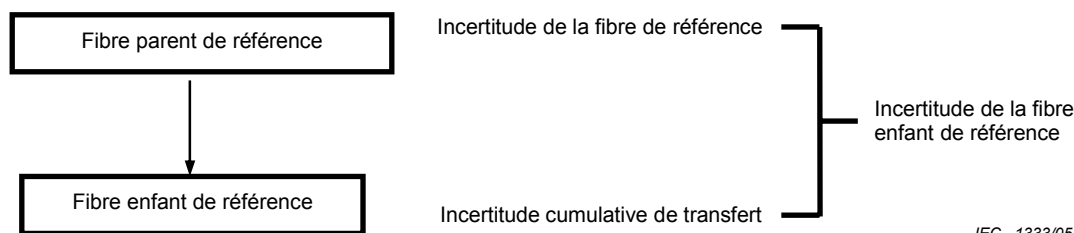
#### 7.4 Incertitudes et rapport

Se référer à l'Annexe A, qui aborde la façon de traiter les incertitudes et à l'Annexe B, qui étudie les sources d'incertitudes relatives à la vérification de l'étalonnage.

Se référer à l'Article 8 pour des détails sur le rapport des résultats d'étalonnage.

#### 7.5 Génération de fibres enfants de référence

Il est vital d'enregistrer les conditions exactes de mesure et plusieurs règles doivent être appliquées lors de la création d'une fibre enfant de référence (voir Figure 5).

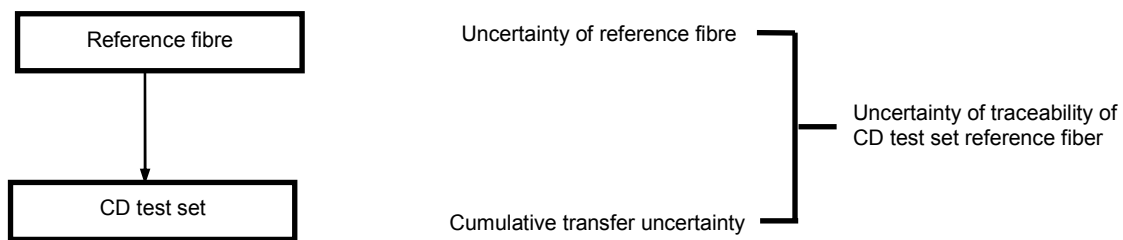


IEC 1333/05

**Figure 5 – Génération d'une fibre de référence**

- a) La fibre parent doit être mesurée sur une plage de longueurs d'onde suffisamment étroite de façon que l'ajustement connu des données du retard [dispersion] puisse être appliqué précisément. Se référer à l'Annexe C.
- b) La fibre enfant doit posséder des caractéristiques similaires à la fibre parent, par exemple même classe/type, même longueur (voir 8.2). La longueur normalisée agréée et la valeur d'indice de groupe pour la fibre doivent être enregistrées.
- c) La plage de longueurs d'onde et les valeurs exactes des longueurs d'onde utilisées pour la caractérisation de la fibre parent doivent être retenues pour toutes les fibres de référence générées à partir des parents. Ceci pour s'assurer que l'ajustement de données est pondéré de manière identique dans toutes les mesures pour enlever le biais du modèle d'ajustement.
- d) L'équation d'ajustement des données doit être la même pour les parents et pour toutes les fibres enfants comparées.
- e) Si nécessaire, l'effet de différence des niveaux de puissance optique entre la fibre enfant et la fibre parent doit être corrigé, ou un niveau similaire de puissance employé pour chaque mesure, en utilisant des affaiblisseurs optiques appropriés.





IEC 1332/05

**Figure 4 – Reference fibre comparison**

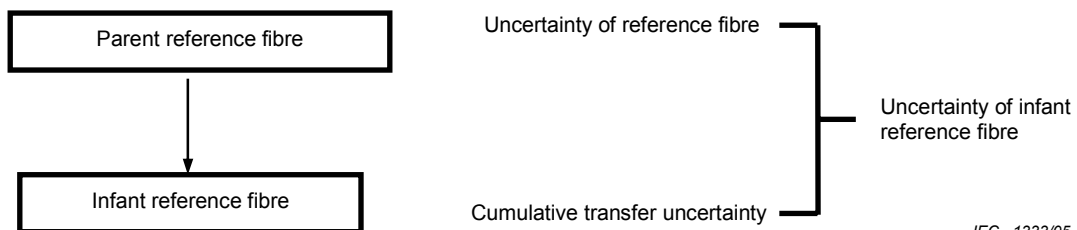
#### 7.4 Uncertainties and reporting

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

Refer to Clause 8 for details of calibration checking results reporting.

#### 7.5 Generation of infant reference fibre

It is vital to record the exact measurement conditions and several rules shall be applied when creating an infant reference fibre (see Figure 5).



IEC 1333/05

**Figure 5 – Generation of a reference fibre**

- The parent fibre shall be measured over a sufficiently narrow wavelength measurement range such that a known delay [dispersion] data fit can be accurately applied. Refer to Annex C.
- The infant fibre shall be similar in characteristics to the parent fibre, for example same class/type, similar length (see 8.2). The agreed standard length and group index value for the fibre shall be recorded.
- The wavelength range and exact wavelength values used for the parent fibre characterization shall be retained for all reference fibres generated from the parent. This is to ensure that the data fit is identically weighted in all measurements to remove fit model bias.
- The data fit equation shall be the same for the parent and all infant fibres being compared.
- If necessary, the effect of differing optical power levels between the infant and parent fibre shall be corrected for, or a similar power level employed for each measurement, by using appropriate optical attenuators.

La génération de la fibre enfant de référence est réalisée en utilisant (idéalement, étalonné) un ensemble d'essai CD comme étalon temporaire de transfert, de la manière suivante:

- a) établir que les exigences des équipements d'essai sont satisfaites (voir 4.2.3);
- b) établir que les conditions d'environnement d'essai sont satisfaites (voir 4.2.2);
- c) positionner l'instrument de l'ensemble d'essai CD vers les réglages appropriés pour les procédures d'étalonnage (voir 4.2.2);
- d) se référer à l'Annexe B pour considérer les effets et les origines techniques des sources d'incertitudes;
- e) utiliser la longueur normalisée agréée de la fibre parent de référence et toutes les corrections pour la fibre retirée pendant le clivage, etc.;
- f) présenter la fibre parent et déterminer la pente et la longueur d'onde à la dispersion nulle;
- g) répéter la mesure si nécessaire pour améliorer l'incertitude de mesure;
- h) s'assurer que les biais pour la fibre parent sont à l'intérieur des limites d'incertitude acceptables sur l'ensemble d'essai CD utilisé pour le transfert (voir Figure 5);
- i) utiliser la longueur normalisée agréée de la nouvelle fibre et toutes corrections pour la fibre retirée pendant le clivage, etc.;
- j) présenter la fibre enfant (sélectionnée conformément aux règles qui précèdent) et déterminer la pente et la longueur d'onde à la dispersion nulle en utilisant le même montage de mesure que pour la mesure de la fibre parent;
- k) répéter la mesure si nécessaire pour améliorer l'incertitude de mesure;
- l) sur tout certificat d'étalonnage de nouvelles fibres normalisées, enregistrer (voir Article 8):
  - la (les) valeur(s) de longueur d'onde de la dispersion nulle;
  - la longueur de fibre et la valeur d'indice de groupe;
  - les points de longueur d'onde et l'ajustement de données utilisé;
  - la (les) pente(s) à la dispersion nulle et la (les) longueur(s) d'onde;
  - la (les) valeur(s) de dispersion aux longueurs d'onde mesurées et à d'autres longueurs d'onde spécifiées comme exigé;
  - les incertitudes d'étalonnage issues de l'incertitude de la fibre parent et de l'incertitude cumulative de transfert du processus de transfert;
  - les autres facteurs d'environnement pertinents (par exemple, la température de la fibre).

## 8 Documentation

Pour tous les ensembles d'essai CD qui se réfèrent à la présente norme, les étalonnages doivent être enregistrés conformément à la procédure indiquée ci-dessous. Tous les états d'incertitudes doivent être faits sur la base mathématique de l'Annexe A.

### 8.1 Spécifications, données de mesure et incertitudes

Suivant une homologation complète de l'étalonnage d'un ensemble d'essai CD, une vérification de l'ajustement doit être réalisée en répétant les procédures appropriées (voir les Articles 5 et 6), pour vérifier que l'ensemble d'essai CD est, en effet, correctement étalonné. En variante, une vérification d'étalonnage en utilisant une fibre de référence (voir Article 7) peut être substituée.

Les incertitudes d'un ensemble simple d'essai CD doivent être documentées dans un certificat d'étalonnage de manière à prétendre à la conformité avec la présente norme. Les incertitudes doivent être indiquées dans la forme des incertitudes étendues, c'est-à-dire en multipliant l'incertitude normalisée correspondante par le facteur de couverture,  $k$ .

The generation of the infant reference fibre is performed using (ideally, calibrated) a CD test set as a temporary transfer standard as follows:

- 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) use the agreed standard length of the parent reference fibre and any corrections for fibre removed during cleaving, etc.;
- f) present the parent fibre and determine zero dispersion wavelength and slope;
- g) repeat the measurement as necessary to improve measurement uncertainty;
- h) ensure the biases for the parent fibre are within acceptable uncertainty limits on the CD test set used for the transfer (see Figure 5);
- i) use the agreed standard length of the new fibre and any corrections for fibre removed during cleaving, etc.;
- j) present the infant fibre (selected in accordance with the above rules) and determine zero dispersion wavelength and slope using the same measurement set up as for the parent fibre measurement;
- k) repeat the measurement as necessary to improve measurement uncertainty;
- l) on any new standard fibre calibration certificate, record (see Clause 8):
  - the zero dispersion wavelength value(s);
  - the fibre length and group index value;
  - the wavelength points and data fit used;
  - the slope(s) at the zero dispersion wavelength(s);
  - the value(s) of dispersion at measurement wavelength(s) and other specified wavelength(s) as required;
  - the calibration uncertainties arising from the uncertainty of the parent fibre and the cumulative transfer uncertainty of the transfer process;
  - other pertinent environmental factors (for example, temperature of the fibre).

## 8 Documentation

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

### 8.1 Specifications, measurement data and uncertainties

Following a successful completion of a calibration of the CD test set, a verification of the adjustment shall be performed by repeating the appropriate procedures (see Clauses 5 and 6), to check that the CD test set is indeed correctly calibrated. Alternatively, a calibration check using a reference fibre (see Clause 7) can be substituted.

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

Un fabricant d'ensembles d'essai CD peut utiliser l'incertitude d'une série d'ensembles d'essai CD identiques, de sa propre fabrication, pour évaluer les valeurs des spécifications techniques de l'incertitude de ce modèle d'ensemble d'essai CD. Les incertitudes d'une série d'ensembles d'essai CD peuvent être utilisées ou spécifiées dans des notices de données appropriées par le fabricant de l'ensemble d'essai CD.

Il convient que les certificats/spécifications contiennent les éléments suivants:

- a) toutes les conditions d'environnement de transfert (voir l'Article 4) de l'ensemble d'essai CD en essai;
- b) si aucun ajustement n'a été appliqué pendant le(s) transfert(s), avec l'intention de les appliquer manuellement pour les mesures ultérieures de fibre, le(s) décalage(s) d'étalonnage et le(s) facteur(s) d'échelle doivent être rapportés. Rapporter, lorsque cela est approprié, les décalages d'étalonnage applicables et les facteurs d'échelle pour le lambda zéro, la pente et la dispersion/retard de la fibre et les plages de longueurs d'onde applicables.

En cas d'ajustement en interne, par exemple par des modifications matérielles ou logicielles, fournir les informations à ce sujet dans le certificat (il n'est pas nécessaire d'enregistrer les valeurs réelles *CO* (décalage correctif) et *SF* (facteur d'échelle));

NOTE Pour la vérification d'étalonnage, enregistrer le biais entre les paramètres des fibres de référence (voir 7.3) et le résultat de mesure de l'ensemble d'essai CD. Lorsqu'une fibre enfant de référence est générée (voir 7.5) enregistrer les paramètres de la fibre comme listé en 7.5.

- c) l'état de l'instrument de l'ensemble d'essai CD pendant la procédure d'étalonnage, les paramètres les plus importants étant la date d'étalonnage, le numéro de série de l'ensemble d'essai CD ou toute autre identification, la (les) longueurs d'onde d'essai utilisée(s), le(s) type(s) de fibre, les réglages de l'instrument, la vitesse moyenne/ le temps moyen, le modèle de mise en place des données, le mode de fonctionnement de l'ensemble d'essai et les numéros de série de tous les artéfacts utilisés;
- d) la période d'étalonnage, et l'échéance du nouvel étalonnage;
- e) la déclaration suivante:
 

«Les informations sur la traçabilité de l'ensemble d'essai CD sont disponibles sur demande»;
- f) la signature d'une personne qualifiée, assignée et autorisée à surveiller les activités d'étalonnage;
- g) la déclaration de procédure et le détail de tous les équipements importants ou artéfacts utilisés (par exemple, le type d'artéfact, l'identification, le principe de fonctionnement, etc.).

## 8.2 Information de traçabilité

Un exemple d'une chaîne de traçabilité est illustré à la Figure 1. L'information relative à la traçabilité, indiquée en 8.1 e), doit être mise à la disposition sur demande et doit contenir les éléments suivants:

- a) le nom du laboratoire des étalons nationaux et, si applicable, du laboratoire d'étalonnage accrédité qui forme le haut de la chaîne d'étalonnage;
- b) une description de tous les étalons de longueur d'onde, de tous les étalons de retard [dispersion] et de tous les instruments associés (avec les périodes de ré-étalonnage, etc.) dans la chaîne d'étalonnage, à partir soit du laboratoire d'étalonnage, soit du laboratoire d'étalonnage accrédité, vers l'ensemble d'essai CD;
- c) tous les ensembles réels des conditions d'environnement de transfert (valeur nominale uniquement) dans la chaîne d'étalonnage;
- d) les incertitudes de tous les artéfacts et étalons de la chaîne d'étalonnage sous la forme des incertitudes étendues;
- e) les incertitudes de transfert de tous les processus de transfert de la chaîne d'étalonnage, sous la forme des incertitudes étendues.

A manufacturer of CD test sets may use the uncertainty of a series of identical CD test sets of his own manufacture to evaluate the technical specification values of uncertainty of this model of CD test set. The uncertainties of a series of CD test sets may be used or specified in appropriate data sheets by the manufacturer of the CD test set.

The certificates/specifications should include the following:

- a) all transfer environmental conditions (see Clause 4) of the CD test set under test;
- b) if no adjustments were applied during the transfer(s), with the intention that these be applied manually to subsequent fibre measurements, 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.

If internal adjustment has been applied, for example by hardware or software changes, state that this has in fact been performed on the certificate (it is not necessary to record the actual *CO* and *SF* values);

NOTE For calibration checking, record the bias between reference fibre parameters (see 7.3) and the measurement result of CD test set. When an infant reference fibre is generated (see 7.5) record the fibre parameters as listed in 7.5.

- 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 period, and the new calibration due-date;
- e) the following statement:  
“Information on the CD test set traceability is available on request”;
- 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.).

## 8.2 Traceability information

An example of a traceability chain is illustrated in Figure 1. The traceability information indicated in 8.1 e) is to be made available upon request and shall contain the following:

- a) the name of the national standards laboratory and, if applicable, of the accredited calibration laboratory which forms the top of the calibration chain;
- b) a description of all wavelength standards, delay [dispersion] standards and related instruments (with re-calibration periods, etc.) in the calibration chain, from either the calibration laboratory or the accredited calibration laboratory to the CD test set;
- c) all actual sets of transfer environmental conditions (nominal values only) in the calibration chain;
- d) the uncertainties of all artefacts and standards in the calibration chain in the form of expanded uncertainties;
- e) the transfer uncertainties of all transfer processes in the calibration chain, in the form of expanded uncertainties.

## Annexe A (normative)

### Bases mathématiques

#### A.0 Introduction

Une partie importante de l'effort dans l'étalonnage concerne l'évaluation des incertitudes. Cette annexe suggère un format normalisé pour les rapports et l'addition des incertitudes.

Ce qui suit est basé sur le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*. Cette annexe distingue trois types d'écarts (voir Article A.1) entre une mesure réelle et la «vraie» valeur de la quantité mesurée: les écarts connus, qui peuvent être corrigés, les incertitudes de type A, qui sont obtenues à partir d'une série de mesures sur la même grandeur mesurée et les incertitudes de type B qui sont obtenues à partir d'autres connaissances. Chacun d'eux peut être causé par un nombre de quantités influentes. Cette annexe indique une forme normalisée destinée à évaluer, additionner, et documenter leurs contributions respectives.

#### A.1 Ecart

Un écart caractérise une erreur connue d'un résultat de mesure. Il devrait être noté que le terme «erreur» est équivalent à «écart».

Il est utile de faire une distinction entre les résultats de mesures sous forme linéaires, par exemple la longueur d'onde ou en pourcentage, et les résultats de mesures sous forme logarithmiques, par exemple la puissance optique en dBm. Dans les deux cas, l'écart ou l'erreur  $\Delta y$  quantifie la différence entre un résultat de mesure réel  $y_{\text{actual}}$  et la «vraie» valeur de la quantité mesurée  $y_{\text{ref}}$ .

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

Une correction est possible en soustrayant l'écart du résultat de mesure.

#### A.2 Incertitude de type A

Il convient que les résultats de mesure changeant de façon aléatoire soient caractérisés par une incertitude de type A. Une distribution normale (Gaussienne) des échantillons de mesure est généralement supposée. Il est recommandé de garder ces incertitudes aussi petites que possible en moyennant un certain nombre d'échantillons de mesure. Afin de gagner du temps dans l'étalonnage d'un ensemble d'essai individuel à partir d'une série d'ensembles d'essai identiques, il est suggéré que chaque incertitude aléatoire (de type A) soit évaluée en deux étapes:

**A.2.1** Dans un premier temps, déterminer l'écart normalisé expérimental  $s_{\text{type A}}$  d'une situation typique de mesure à partir d'un grand nombre de mesures,  $m$ . Le centre de la distribution est supposé coïncider avec le zéro, c'est-à-dire la valeur normalisée de référence. Noter que toutes les incertitudes aléatoires (de type A) doivent être rapportées comme des incertitudes relatives de l'ensemble d'essai CD.

## Annex A (normative)

### Mathematical basis

#### A.0 Introduction

A major part of the effort in calibration goes into evaluating uncertainties. This annex suggests a standard format for reporting and accumulating uncertainties.

The following is based on the *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. This annex distinguishes three types of deviations (see Clause A.1) between an actual measurement and the “true” value of the measured quantity: known deviations, which can be corrected, 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. This annex indicates a standardized form of evaluating, accumulating and reporting these contributions.

#### A.1 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  $\Delta y$  quantifies the difference between an actual measurement result  $y_{\text{actual}}$  and the “true” value of the measured quantity  $y_{\text{ref}}$ .

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

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

#### A.2 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:

**A.2.1** 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. Note that all random (type A) uncertainties shall be reported as relative uncertainties of the CD test set response.

L'écart normalisé expérimental, caractérisant une incertitude de type A, est approximativement:

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

où

$y_i$  est l'échantillon de mesure d'une série de mesures de la dispersion;

$y_{\text{mean}}$  est la valeur moyenne de la dispersion de données;

$m$  est le nombre de mesures de caractérisation dans la détermination de l'écart normalisé avec  $m$  supposé être grand, par exemple  $>30$ .

**A.2.2** Dans un second temps, déterminer l'incertitude normalisée du cas individuel  $\sigma_{\text{type A}}$  à partir d'un nombre plus petit de mesures  $n$ . Souvent  $n = 1$  afin de gagner du temps de mesure. Le résultat est l'incertitude normalisée de type A:

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

où  $\sigma_{\text{type A}}$  exprime l'incertitude de la moyenne, qui considère le moyennage des  $n$  échantillons de mesure. Noter que les deux étapes peuvent être rassemblées en une seule étape, en faisant  $m = n$ . Des techniques supplémentaires de statistique, par exemple les statistiques-t peuvent être exigées.

### A.3 Incertitude de type B

Une incertitude de type B quantifie généralement un décalage connu fixe entre un résultat de mesure et la «vraie» valeur de la quantité mesurée. Ces incertitudes peuvent être décrites par la largeur d'une bande d'incertitudes, comme illustré à la Figure A.1. Une distribution uniforme (rectangulaire) des résultats de mesure est supposée.

La présente norme suggère de spécifier la mi-largeur  $U_{\text{type B}}$  de la bande des incertitudes relatives. La bande d'incertitudes peut être calculée en multipliant la bande de tolérances de la condition influente, par exemple de la température, avec le pire cas de l'ensemble d'essai en fonction de cette condition. Il convient que ces calculs soient basés sur des relations physiques connues, des spécifications fabricants, des données fournies dans des certificats d'étalonnage ou sur un nombre suffisamment grand de mesures de caractérisation du même type d'ensemble d'essai. Les incertitudes de type A, dans ces mesures, doivent être gardées aussi petites que possible, par exemple en moyennant.



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;
- $y_{\text{mean}}$  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  $>30$ .

**A.2.2** As the second step, determine the standard uncertainty of the individual case  $\sigma_{\text{type A}}$  from a smaller number of measurements  $n$ . Often  $n = 1$  in order to save measurement time. The result is the standard uncertainty type A:

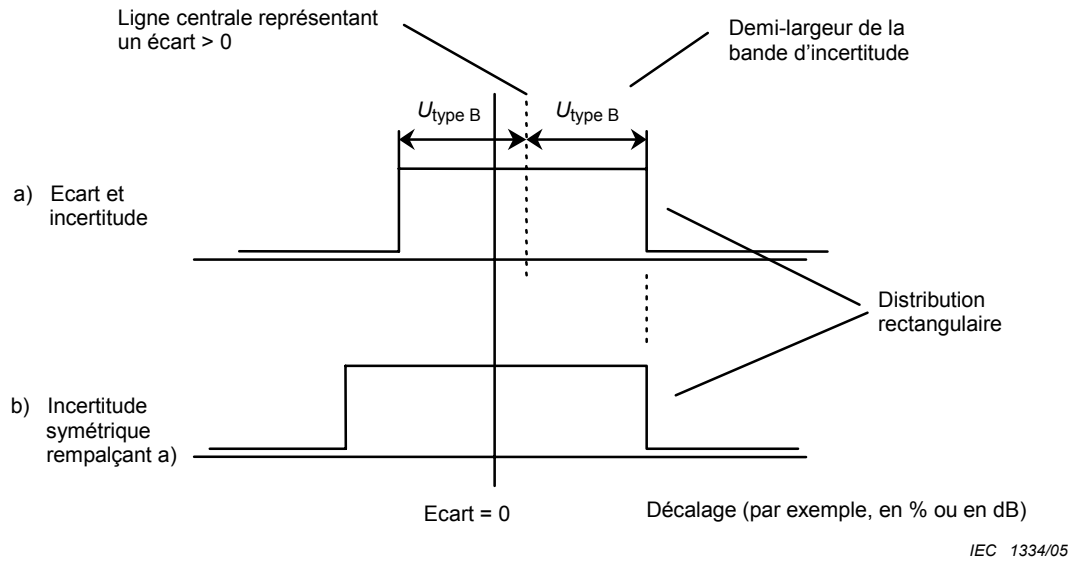
$$\sigma_{\text{type A}} = s_{\text{type A}} / \sqrt{n} \quad (\text{A-3})$$

where  $\sigma_{\text{type A}}$  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.3 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 standard 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 – Ecart et incertitude de type B, et comment remplacer chacune par une incertitude plus grande de manière appropriée**

Comme illustré à la Figure A.1, il est possible d’omettre l’écart en spécifiant une bande d’incertitudes plus grande et symétrique.

L’incertitude étendue peut alternativement s’exprimer par une incertitude normalisée équivalente  $\sigma_{\text{type B}}$ :

- *Incertaince de type B (demi largeur):*

$$U_{\text{type B}} = \{\text{mi-largeur de la bande de tolérances du paramètre} \times \text{sensibilité de l'ensemble d'essai CD}\} \tag{A-4}$$

- *Incertaince de type B normalisée (calculée):*

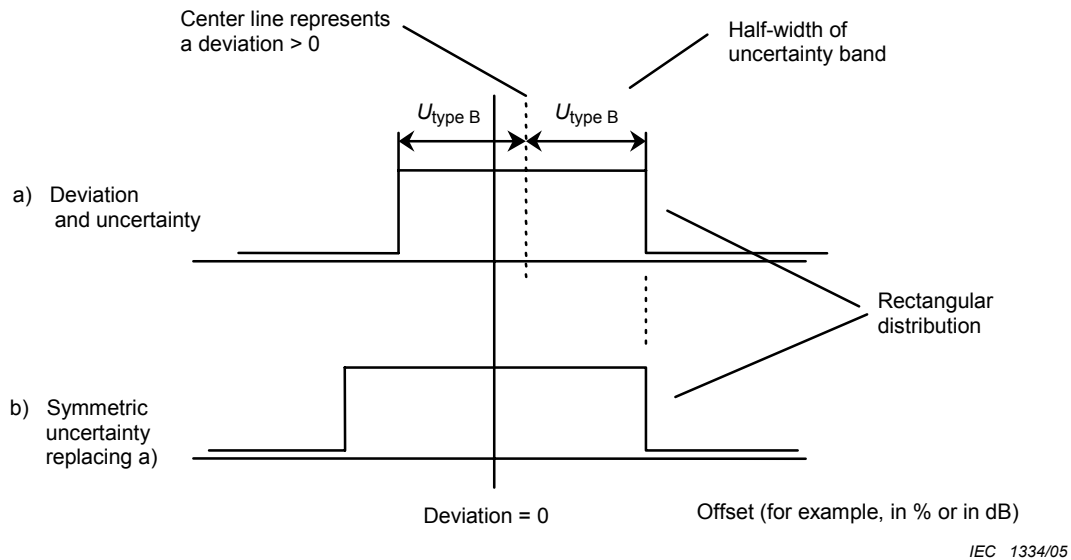
$$\sigma_{\text{type B}} = U_{\text{type B}} / \sqrt{3} \tag{A-5}$$

#### A.4 Accumulation des incertitudes

L’«incertitude combinée normalisée» est utilisée pour collecter un nombre, *i*, d’incertitudes individuelles à l’intérieur d’un nombre simple. L’incertitude combinée normalisée est basée sur l’indépendance statistique des incertitudes individuelles; ceci conduit à une racine carrée de la somme de leurs écarts normalisés. En conformité avec le *Guide pour l’expression de l’incertitude de mesure*, la formule suivante doit déterminer l’écart cumulatif, l’incertitude combinée normalisée et l’incertitude combinée étendue.

- *Ecart cumulatif (erreur):*

$$\Delta Y = \sum \Delta y_i \tag{A-6}$$



**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 alternatively be expressed by an equivalent standard uncertainty  $\sigma_{\text{type B}}$ :

- *Uncertainty type B (half-width):*

$$U_{\text{type B}} = \{\text{half-width of parameter's tolerance band} \times \text{CD test set's sensitivity}\} \quad (\text{A-4})$$

- *Standard uncertainty type B (calculated):*

$$\sigma_{\text{type B}} = U_{\text{type B}} / \sqrt{3} \quad (\text{A-5})$$

#### A.4 Accumulation of uncertainties

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 compliance with the *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, the following formulae shall determine the cumulative deviation, combined standard uncertainty and combined expanded uncertainty.

- *Cumulative deviation (error):*

$$\Delta Y = \sum \Delta y_i \quad (\text{A-6})$$

- *Incertitude normalisée combinée:*

$$u_c = \left[ \sum_i (\sigma_{\text{typeB},i})^2 + \sum_j (\sigma_{\text{typeA},j})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A-7})$$

où

$\sigma_{\text{typeB},i}$  est l'incertitude normalisée (calculée) représentant l'incertitude systématique (de type B), pour l'un des  $i$ ;

$\sigma_{\text{typeA},j}$  est l'incertitude normalisée caractérisant l'incertitude aléatoire (de type A), pour l'un des  $j$ ;

$i$  est le nombre des incertitudes de type B;

$j$  est le nombre des incertitudes de type A.

NOTE La première partie de l'équation (A.7) collecte toutes les incertitudes de type B, et la seconde partie collecte toutes les incertitudes de type A. Il est acceptable de négliger dans cette équation les contributions d'incertitude qui sont plus petites que 1/10 de la contribution la plus grande, car les élever à la puissance carrée réduira leur valeur significative de 1/100 par rapport à la contribution la plus grande.

- *Incertitude combinée étendue:*

$$U = \pm u_c \pm k \quad (\text{A-8})$$

où  $k$  est le facteur de couverture. Se référer aux définitions 3.14 et 3.15.

Dans la plupart des mesures, il est possible d'évaluer les incertitudes de type B avec une grande fiabilité. De plus, si la procédure suivie pour faire les mesures est bien établie et que les évaluations de type A sont obtenues à partir d'un nombre suffisant d'observations, alors l'utilisation d'un facteur de couverture  $k = 2$  signifiera que l'incertitude combinée étendue,  $U$ , fournira un intervalle avec un niveau de confiance de 95,5 %; pour  $k = 3$  celui-ci devrait être de 99,7 %.

Cependant, dans certains cas, il peut ne pas être pratique de baser l'évaluation de type A sur un grand nombre de lectures, ce qui pourrait avoir comme résultat que le niveau de confiance reste, de manière significative, inférieur à 95 % si un facteur de couverture de  $k = 2$  est utilisé. Il convient que dans ces situations, la valeur de  $k$ , ou plus strictement  $k_p$  où  $p$  est la probabilité de confiance en terme de pourcentage, par exemple 95, soit basée sur une distribution en  $t$  plutôt que sur une distribution normale. En général, si une évaluation d'incertitude implique uniquement une évaluation de type A et que le nombre de lectures,  $n$ , est plus grand que 2, et que l'incertitude de type A est inférieure à la moitié de l'incertitude combinée normalisée,  $u_c$ , alors les facteurs de couverture correspondant à une large distribution peuvent être utilisés. Si cela n'est pas le cas, alors pour obtenir correctement la valeur exigée pour  $k$ , il est nécessaire d'obtenir une estimation du degré de liberté effectif  $\nu_{\text{eff}}$  de l'incertitude combinée normalisée  $u_c$ . L'équation de Welch-Satterwaite est utilisée pour calculer une valeur de  $\nu_{\text{eff}}$  basée sur les degrés de liberté  $\nu_i$ ,  $\nu_j$ , des contributions de l'incertitude individuelles  $\sigma_i$ ,  $\sigma_j$ ; Donc:

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{(u_c)^4}{\sum_i \frac{(\sigma_{\text{typeB},i})^4}{\nu_i} + \sum_j \frac{(\sigma_{\text{typeA},j})^4}{\nu_j}} \quad (\text{A-9})$$

- *Combined standard uncertainty:*

$$u_c = \left[ \sum_i (\sigma_{\text{typeB},i})^2 + \sum_j (\sigma_{\text{typeA},j})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A-7})$$

where

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

$\sigma_{\text{typeA},j}$  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 equation (A.7) 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:*

$$U = \pm u_c \times k \quad (\text{A-8})$$

where  $k$  is the coverage factor. Refer to 3.14 and 3.15.

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 95,5 %; for  $k = 3$  this would be 99,7 %.

However, in some cases, it may not be practical to base the type A evaluation on a large number of readings, which could result in the level of confidence being significantly less than 95 % if a coverage factor of  $k = 2$  is used. In these situations, the value of  $k$ , or more strictly  $k_p$  where  $p$  is the confidence probability in percentage terms, for example 95, should be based on a  $t$ -distribution rather than a normal distribution. Generally, if an uncertainty assessment involves only one type A evaluation and the number of readings,  $n$ , is greater than 2 and the type A uncertainty is less than half the combined standard uncertainty,  $u_c$ , then the coverage factors corresponding to a large distribution can be used. If this is not the case, then in order to correctly obtain the required value for  $k$ , it is necessary to obtain an estimate of the effective degrees of freedom  $\nu_{\text{eff}}$  of the combined standard uncertainty  $u_c$ . The Welch-Satterwaite equation is used to calculate a value of  $\nu_{\text{eff}}$  based on the degrees of freedom  $\nu_i$ ,  $\nu_j$ , of the individual uncertainty contributions  $\sigma_i$ ,  $\sigma_j$ ; therefore:

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{(u_c)^4}{\sum_i \frac{(\sigma_{\text{typeB},i})^4}{\nu_i} + \sum_j \frac{(\sigma_{\text{typeA},j})^4}{\nu_j}} \quad (\text{A-9})$$

Les degrés de liberté  $\nu_j$ , pour les contributions obtenues à partir des évaluations de type A sont  $j-1$ . Pour les contributions de type B, les degrés de liberté seront nécessairement évalués à partir des informations disponibles ou de la connaissance de la fiabilité de l'estimation de l'incertitude normalisée. Les degrés de liberté pour chaque contribution de type B sont obtenus à partir de l'incertitude relative  $\Delta\sigma_i/\sigma_i$ . Une valeur pour l'incertitude relative est obtenue, de manière subjective, à partir de jugement scientifique basé sur la réserve d'informations disponibles. Donc, pour les contributions de type B:

$$\nu_i = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta\sigma_i}{\sigma_i} \right)^{-2} \quad (\text{A-10})$$

Il est souvent possible de prendre le nombre de degrés de liberté  $\nu_i$  d'une contribution de type comme infini. Dans ce cas, le degré de liberté effectif de  $\sigma_i$  dépendra du degré de liberté des contributions de type A et de leur amplitude par rapport aux contributions de type B.

Ayant obtenu une valeur pour  $\nu_{\text{eff}}$ , un tableau normalisé de distribution en  $t$  est utilisé pour trouver une valeur de  $t$  correspondant à un niveau de confiance de 95 %. Ceci est la valeur de  $k$  exigée pour calculer l'incertitude combinée normalisée  $U$  dans l'équation (A.8).

## A.5 Rapports

Dans les rapports d'étalonnage et les notices de données techniques, les incertitudes combinées normalisées dans la sortie de l'ensemble d'essai CD doivent être rapportées sous forme d'incertitudes étendues, avec le niveau de confiance applicable. Le niveau de confiance par défaut est 95,5 %.

The degrees of freedom  $\nu_j$ , for contributions obtained from type A evaluations is  $j-1$ . For type B contributions the degrees of freedom will need to be estimated from available information or knowledge of the reliability of the estimation of the standard uncertainty. The degrees of freedom for each type B contribution are obtained from the relative uncertainty  $\Delta\sigma_i/\sigma_i$ . A value for the relative uncertainty is obtained, subjectively, from scientific judgement based on the pool of available information. Therefore for type B contributions:

$$\nu_i = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta\sigma_i}{\sigma_i} \right)^{-2} \quad (\text{A-10})$$

It is often possible to take the number of degrees of freedom  $\nu_i$  of a type B contribution as infinite. In these cases, the effective degree of freedom of  $\sigma_i$  will depend on the degrees of freedom of type A contributions and their magnitude in relation to the type B contributions.

Having obtained a value for  $\nu_{\text{eff}}$ , a standard  $t$ -distribution table is used to find a value of  $t$  corresponding to a confidence level of 95 %. This is the value of  $k$  required to calculate the combined expanded uncertainty  $U$  in equation (A.8).

## A.5 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 95,5 %.

## Annexe B (normative)

### Evaluation des incertitudes de fonctionnement

#### B.0 Introduction

Cette annexe décrit les sources potentielles d'incertitudes et les essais pour les incertitudes individuelles. Le but de ces essais est d'évaluer/calculer les incertitudes absolues de tous les étalons dans la chaîne d'étalonnage pour l'ensemble d'essai CD comme souligné par l'Article 5. La compilation des sources d'incertitudes n'est en aucun cas exhaustive.

Naturellement, les conditions de fonctionnement pour un ensemble d'essai CD étalonné seront significativement différentes de celles qui existent au moment de l'étalonnage. L'incertitude de fonctionnement est l'incertitude supplémentaire introduite par le fonctionnement de l'ensemble d'essai CD aux extrémités de sa plage de fonctionnement prévue (température, perte, etc.). La plage de fonctionnement peut être réglée par le fabricant de l'ensemble d'essai CD ou par le laboratoire d'étalonnage en charge de l'étalonnage pour les conditions de fonctionnement. Pour calculer l'incertitude de fonctionnement, utiliser la base mathématique de l'Annexe A.

Chaque incertitude individuelle de fonctionnement peut être évaluée pour ces sources d'incertitudes dans le processus réel de transfert. Il convient que toutes les incertitudes soient rapportées en utilisant la base mathématique de l'Annexe A sous la forme d'une incertitude étendue de type B.

Une incertitude de fonctionnement est définie comme le tronçon des variations relatives de la réponse de l'ensemble d'essai CD, lors de la variation d'un des paramètres de fonctionnement à l'intérieur de la plage spécifiée de fonctionnement. Le point zéro est défini par la réponse à la condition de transfert. Le tronçon est défini par les variations maximales positives ou négatives de la réponse; une distribution asymétrique des incertitudes autour du point zéro est le résultat habituel.

Une incertitude de fonctionnement peut être supposée nulle si la bande de fonctionnement de ce paramètre coïncide avec la bande de tolérances du paramètre pendant le transfert. En général, l'incertitude de fonctionnement augmentera avec la largeur de la plage de fonctionnement.

#### B.1 Incertitudes d'étalonnage de la longueur d'onde

##### B.1.1 Décalages en longueur d'onde

- *Sources discrètes de lumière (laser):*

Une des principales sources d'incertitudes provient de l'étalonnage de l'analyseur de spectre optique (ou d'un instrument similaire) utilisé pour étalonner le système. L'instrument doit être étalonné avec une incertitude connue par rapport à un étalon reconnu; cette incertitude sera convertie en incertitude symétrique, dépendante de la dispersion de la fibre. Les effets du décalage/de la stabilité de la distribution spectrale et de la longueur d'onde du laser doivent aussi être pris en compte.



## **Annex B** (normative)

### **Assessment of operational uncertainties**

#### **B.0 Introduction**

This annex describes potential uncertainty sources, and tests for individual uncertainties. The purpose of these tests is to evaluate/calculate the absolute uncertainties of all standards in the calibration chain for the CD test set as outlined in Clause 5. The compilation of uncertainty sources is by no means exhaustive.

Naturally, operating conditions for a calibrated CD test set will differ significantly from those pertaining at the time of calibration. The operational uncertainty is the additional uncertainty induced by operating the CD test set to the extremities of its intended operating range (temperature, loss, etc.). The operating range may be set by the CD test set manufacturer or by the calibration laboratory in charge of calibration for operating conditions. To calculate the operational uncertainty, use the mathematical basis of Annex A.

Each individual operational uncertainty may be evaluated for those uncertainty sources in the actual transfer process. All uncertainties should be reported using the mathematical basis of Annex A in the form of an expanded uncertainty type B.

An operational uncertainty is defined as the span of relative changes of the response of the CD test set, when changing one of the operating parameters within the specified operating range. The zero point is defined by the response at the transfer condition. The span is defined by the maximum positive and negative changes of the response; an asymmetric distribution of uncertainties about the zero point is the usual result.

An operational uncertainty may be assumed to be zero if the operating band of that parameter coincides with the tolerance band of the parameter during transfer. Generally, the operational uncertainty will increase with the width of the operating range.

#### **B.1 Wavelength calibration uncertainties**

##### **B.1.1 Wavelength offsets**

- *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 accuracy 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 central wavelength stability/shift shall also be considered.

- *Sources accordables de lumière (programmable)*

L'incertitude provient de la précision de la longueur d'onde individuelle de chaque filtre ou laser (ou source) utilisé pour étalonner le monochromateur. Généralement, la loi d'étalonnage pour le monochromateur est obtenue par la mise en place des données appropriées, qui lissera les incertitudes individuelles.

Les autres incertitudes proviennent de

- a) la quantification de l'entraînement numérique du monochromateur (réelle);
- b) la dérive à long terme du monochromateur et des filtres/lasers normalisés;
- c) la dérive thermique du monochromateur;
- d) la répétabilité (mécanique/électrique) du monochromateur;
- e) l'alignement mécanique du monochromateur.

### **B.1.2 Largeur et forme spectrale de la source**

La largeur spectrale finie de la source de lumière utilisée dans un ensemble d'essai CD affecte la précision 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 centrales de la source doivent être évaluées en utilisant l'équation (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 est vrai en particulier lorsque l'on utilise des sources à large bande (par exemple des LEDs) qui possèdent une forme spectrale proche d'une 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 centrale de la lumière au centre de la fenêtre du monochromateur.

En pratique, lorsque l'on mesure des fibres ordinaires, le fait de se référer uniquement à la longueur d'onde centrale du monochromateur a un effet négligeable pour des largeurs spectrales inférieures à 5 nm, avec des LEDs possédant une largeur spectrale FWHM d'au moins 50 nm (l'erreur induite dans la mesure pour la longueur d'onde à la dispersion nulle et pour la pente à la dispersion nulle d'une fibre est inférieure à 1 nm, respectivement à 1 % dans ce cas). Au-delà de ces limites, une évaluation correcte de la longueur d'onde centrale de la source utilisée est exigée (ce qui peut généralement être obtenu en utilisant la méthode C (5.3.3) 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 l'on utilise la méthode A (5.3.1) et la méthode B (5.3.2) 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.

## **B.2 Incertitude de longueur de fibre**

Étant donné que la dispersion est toujours normalisée à une unité de longueur, il est nécessaire de déterminer la longueur de fibre en essai. Ceci peut être réalisé, par exemple, en utilisant l'ensemble d'essai CD ou un OTDR, chacun utilisant une valeur d'indice de groupe de fibre appropriée. Il convient que la valeur d'indice de groupe soit obtenue à partir des méthodes de mesure normalisées, par exemple la méthode 'cut back', des comparaisons mécaniques de longueur, des données de fabricants, etc. L'appareillage de mesure de la longueur doit être étalonné avec un étalon reconnu. Les incertitudes dans l'indice de groupe et dans la mesure de la longueur doivent être prises en compte.

- *Tunable (programmable) light sources*

Uncertainty arises from the individual wavelength accuracy of each filter or laser (or source) used to calibrate the monochromator. Typically, the calibration law for the monochromator is obtained by appropriate data fitting, which will smooth the individual uncertainties.

Other uncertainties arise from

- a) the quantization of the (usually) digital monochromator drive;
- b) long term drift of the monochromator and standards filters/lasers;
- c) thermal drift of the monochromator;
- d) the monochromator repeatability (mechanical/electrical);
- e) the monochromator mechanical alignment.

### **B.1.2 Source spectral width and shape**

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

To reduce uncertainties, the central wavelengths of the source shall be evaluated using equation (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 central 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 central 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 central wavelength of the source used is required (this can typically be obtained, using method C (5.3.3) 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 (5.3.1) and method B (5.3.2) 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.

## **B.2 Fibre length uncertainty**

Since dispersion is always normalized to unit length, it is necessary to determine the length of fibre under test. This may be done, for example, using the CD test set or an optical time-domain reflectometer (OTDR), each respectively using an appropriate fibre group index value. The group index value should be obtained from standard measurement methods, for example the 'cut back' method, mechanical length comparisons, manufacturer's data, etc. The length measurement apparatus shall be calibrated to known standards. The uncertainties in group index and length measurement shall be taken into account.

Lorsque des fibres normalisées sont en cours d'utilisation, une longueur de fibre approximativement identique peut être utilisée à la fois dans des ensembles d'essai CD parents et dans des ensembles d'essai CD enfants. On doit veiller à s'assurer que seules des quantités négligeables de fibres sont enlevées pendant l'épissurage de la fibre, etc. Les fibres connectées sont acceptables (voir B.6.4).

### B.3 Variation du retard optique

L'effet de la dispersion chromatique est une variation en minutes relatives du retard à comparer au retard total de la propagation optique. C'est pourquoi il est essentiel de maintenir un retard de la fibre constant au moins pendant les périodes de mesure de la dispersion. La relative facilité par laquelle cette situation peut être approchée dans la pratique dépend du temps de mesure et de la technique de mesure de la dispersion utilisée. Les principales sources de la variation du retard totale sont les déformations de la fibres et les changements de températures qui apparaissent pendant le temps de mesure.

#### B.3.1 Déformation axiale de la fibre

Une déformation axiale dans une fibre (par exemple bobinée fortement sur un tambour) peut causer des variations importantes du retard, peut-être en raison de l'expansion thermique du tambour ou du conduit de fibre posé. La déformation se traduit par un changement de la longueur physique  $\Delta L$  et un changement d'indice de groupe  $\Delta n$ . Pour l'ordre premier,  $dn/d\lambda$  (la dispersion) n'est pas affectée. Cependant, si la déformation a été modifiée pendant les mesures, par exemple la température du tambour change ou dérive, l'incertitude significative du retard peut être obtenue parce que les points de retard sont obtenus de manière séquentielle. Il est ainsi nécessaire de minimiser les variations de la température de la fibre ou de la déformation de la fibre pour la durée des mesures du retard et pour tous les travaux d'étalonnage, ainsi que pour tous les travaux d'essai réels si l'étalonnage de l'ensemble d'essai CD doit être garanti. Les niveaux tolérables de variation de la déformation dépendent de la méthode de mesure utilisée. De même, en fonction de la durée de mesure et du type de méthode de mesure, il peut être nécessaire d'adopter des mesures spéciales pour stabiliser la température de la fibre et les autres conditions d'environnement au-delà de ce qui est stipulé en 4.2.2.

#### B.3.2 Température de la fibre

Dans le cas de la température de la fibre, plusieurs effets ont une incidence:

- a) L'expansion thermique naturelle de la fibre entraînera une variation du retard optique, en même temps qu'un changement de la longueur physique et un changement d'indice de groupe. Il est donc nécessaire de minimiser la variation de température de la fibre comme décrit ci-dessus. Une variation d'une valeur typique de  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  sur la période de mesure entraînerait une variation d'incertitude de  $0,1\text{ ps} \times \text{nm}^{-1} \times \text{km}^{-1}$ . A nouveau, en fonction de la méthode et du temps de mesure, des mesures spéciales comme celles qui ont été décrites en B.3.1 peuvent être exigées pour stabiliser l'environnement de la fibre.
- b) Une incertitude, due aux changements de la longueur physique résultant de la déformation et de la température, apparaîtra si la longueur de la fibre est déterminée à un niveau de déformation différent et/ou à une température différente. Il est donc recommandé de réduire cette incertitude à une amplitude négligeable en mesurant la longueur de la fibre dès que possible avant ou juste après les mesures de la dispersion, et d'utiliser cette valeur dans la génération des résultats de la dispersion.
- c) La température a un effet supplémentaire en modifiant physiquement l'ordre premier de  $dn/d\lambda$  (une forme d'effet thermo-optique), en élevant le décalage de la longueur d'onde avec une dispersion d'environ  $\sim +0,03\text{ nm/C}$ . La sensibilité de la pente à la température est typiquement négligeable. Un niveau raisonnable de dérive thermique pendant le temps de mesure devrait être de  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ceci s'applique à toutes les techniques de mesure étant donné que c'est un effet physique 'réel' sur la fibre en essai. Il est aussi recommandé que les mesures de comparaison utilisant des fibres de référence soient faites à des températures similaires (c'est-à-dire  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) pour rendre négligeable l'incertitude provenant de l'effet thermo-optique.

Where standard fibres are in use, approximately the same length of fibre may be used in both parent and infant CD test sets. Care shall be taken to ensure negligible amounts of fibre are trimmed off during fibre splicing, etc. Connectorized fibres are acceptable (see B.6.4).

### B.3 Optical delay variation

The chromatic dispersion effect is a relatively minute change in delay compared to the total optical propagation delay. Therefore, it is essential to maintain a constant fibre delay at least during dispersion measurement periods. The relative ease by which this situation can be approached in practice depends on the measurement time and the dispersion measurement technique used. The main sources of total delay variation are fibre strain and temperature changes which occur over the measurement time.

#### B.3.1 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  $\Delta L$  and group index change  $\Delta n$ . 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.

#### B.3.2 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 °C change over the measurement period would result in 0,1 ps  $\times$  nm<sup>-1</sup>  $\times$  km<sup>-1</sup> uncertainty. Again, depending on measurement time and method, special measures as described in B.3.1 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  $\sim +0,03$  nm/°C. The temperature sensitivity of the slope is typically negligible. A reasonable level of thermal drift during the measurement time would be 1 °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 °C  $\pm$  2 °C) to render negligible the uncertainty arising from the thermo-optic effect.

## B.4 Incertitudes d'instrumentation

Beaucoup de sources d'incertitudes potentielles dans des ensembles d'essai CD peuvent apparaître à l'intérieur des systèmes électroniques pour déterminer le retard d'impulsion ou le déphasage. Ceux-ci sont traités à tour de rôle. De nombreux écrits dans la littérature traitent de ces effets en détail.

### B.4.1 Détermination du retard d'impulsion

Dans beaucoup d'ensembles d'essai CD de retard d'impulsion, le retard est déterminé en alignant électriquement ou visuellement l'impulsion optique reçue sur une version numérique retardée de l'impulsion optique d'entrée à l'aide d'un calculateur de forme d'onde ou d'un oscilloscope. Les incertitudes sont ici comme suit:

- a) l'incertitude du générateur numérique de retard – doit être étalonnée avec des étalons reconnus;
- b) la linéarité de la base de temps/l'incertitude dans le calculateur/la pente – doivent être étalonnées avec des étalons reconnus;
- c) la détermination de la position de la forme d'onde –est généralement réalisée par l'analyse de la forme d'onde des impulsions. Elle est soumise à certains effets numériques de quantification et aux biais causés par l'élargissement de l'impulsion optique (en particulier dans les longues fibres). Les systèmes alignés visuellement sont soumis à l'incertitude de fonctionnement (par exemple le parallaxe de l'oscilloscope);
- d) la gigue du retard de temps dans un générateur/application numérique du retard donnera lieu à une incertitude aléatoire (de type A);
- e) le bruit du récepteur donnera lieu à une incertitude aléatoire (de type A), augmentant en amplitude pour les longues fibres.

### B.4.2 Détermination du déphasage

Dans le cas de systèmes à déphasage, un signal de haute fréquence est utilisé pour obtenir un déphasage dû au retard de groupe dans la fibre. Ceci donne lieu à un grand nombre de cycles complets de  $2\pi$  du déphasage total dans la fibre. Ainsi, pendant que le phasemètre donne une sortie reflétant uniquement le cycle final incomplet de phase, la phase réelle détectée est celle introduite par la longueur totale de la fibre. C'est pourquoi, un petit décalage en fréquence produira un déphasage mesuré (c'est-à-dire indication du phasemètre) proportionnellement beaucoup plus grand.

Les incertitudes de détection de phase proviennent des sources suivantes:

- a) la dérive en fréquence de l'oscillateur principal: la dérive peut produire un déphasage ou même un glissement de cycle dû au grand retard total dans la fibre (le déphasage est proportionnel au retard total et à la fréquence). La fréquence s'écartant de la valeur nominale qui peut être un résultat de la dérive thermique, doit être minimisée pendant le temps de mesure;
- b) la valeur nominale (centrale) de la fréquence du générateur: un pourcentage donné d'incertitudes, par exemple dû au vieillissement, dans la valeur nominale de l'oscillateur principal donnera lieu à un pourcentage d'incertitudes similaire dans le déphasage total et par conséquent dans la dispersion mesurée. Il est nécessaire d'étalonner l'oscillateur principal avec des étalons reconnus;
- c) le phasemètre non linéaire: le phasemètre doit répondre d'une manière linéaire (ou avec la non-linéarité corrigée mathématiquement) à un signal d'entrée et à une différence de phase de référence, généralement une caractéristique inhérente aux systèmes électroniques;
- d) le bruit de phase dans l'oscillateur principal et dans le phasemètre: tous les deux génèrent du bruit qui deviendra la source de bruit dominante pour les hautes puissances optiques reçues (fibres courtes d'essai); une incertitude aléatoire (de type A);

## B.4 Instrumentation uncertainties

Many sources of potential uncertainty in CD test sets can arise within the electronic systems for determining pulse delay or phase shift. These are dealt with in turn. Numerous papers in the literature treat these effects in detail.

### B.4.1 Pulse delay determination

In many pulse delay CD test sets the delay is determined by electronically or visually aligning the received optical pulse to a digitally delayed version of the input optical pulse on a waveform processor or oscilloscope. Uncertainties here are as follows:

- a) digital delay generator uncertainty – shall be calibrated to known standards;
- b) timebase linearity/uncertainty in processor/scope – shall be calibrated to known standards;
- c) waveform position determination – this is usually performed by waveform analysis of the pulses. This is subject to some digital quantization effects and to bias caused by optical pulse broadening (particularly in long fibres). Visually aligned systems are subject to operator uncertainty, (for example oscilloscope parallax);
- d) time delay jitter in digital delay generator/scope will result in random (type A) uncertainty;
- e) receiver noise will result in random (type A) uncertainty, increasing in magnitude for long fibre.

### B.4.2 Phase shift determination

In the case of phase shift systems, a high frequency signal is used to obtain a phase shift due to the group delay in the fibre. This results in a large number of complete  $2\pi$  cycles of total phase shift in the fibre. Thus whilst the phase meter gives an output reflecting only the final incomplete cycle of phase, the actual phase being detected is that induced by the total fibre length. Therefore, a small shift in frequency will produce a proportionately much larger measured phase shift (i.e. phase meter indication).

Phase detection uncertainties arise from the following sources:

- a) master oscillator frequency drift: drift may produce phase shift or even cycle slippage due to the large total delay in the fibre (phase shift is proportional to total delay and frequency). Frequency drift away from the nominal value which may be a result of thermal drift shall be minimized during the measurement time;
- b) oscillator frequency nominal (central) value: a given percentage uncertainty, for example due to ageing, in the nominal master oscillator value will result in similar percentage uncertainty in the total phase shift and hence the measured dispersion. It is necessary to calibrate the master oscillator to known standards;
- c) phase meter non-linearity: the phase meter shall respond in a linear (or mathematically corrected non-linear) fashion to the input signal and reference phase difference, usually an inherent characteristic of the electronic systems;
- d) phase noise in master oscillator and phase meter: these both contribute noise which will become the dominant noise source at high received optical powers (short test fibres); a random (type A) uncertainty;

- e) le bruit du détecteur/récepteur optique: celui-ci devient significatif pour des longues fibres lorsque la puissance optique reçue est faible; une incertitude aléatoire (de type A);
- f) tout déphasage à l'intérieur du récepteur qui est sensible à la fréquence de fonctionnement doit être pris en compte.

### B.4.3 Détermination du déphasage différentiel

Pour les systèmes de déphasage différentiel, seule les différences de phase sont mesurées entre les longueurs d'onde. Il est supposé que les systèmes mesurant la phase, le récepteur optique, etc., sont insensibles au nombre de cycles complets de retard de phase de  $2\pi$  entre le signal optique reçu et l'entrée de l'oscillateur.

Les incertitudes de détection de phase différentielle proviennent des sources suivantes:

- a) la dérive en fréquence de l'oscillateur principal: la dérive peut produire un déphasage ou même un glissement de cycle dû au grand retard total dans la fibre (le déphasage est proportionnel au retard total et à la fréquence). Cependant, le déphasage différentiel ne reflètera pas cela. A la place, le pourcentage de variation dans la fréquence de l'oscillateur donnera précisément ce pourcentage de déphasage différentiel. La fréquence s'écartant de la valeur nominale qui peut être un résultat de la dérive thermique, doit être minimisée pendant le temps de mesure;
- b) la valeur nominale (centrale) de la fréquence de l'oscillateur: un pourcentage d'incertitude donné, par exemple dû au vieillissement, dans la valeur nominale de l'oscillateur principal donnera lieu à un pourcentage d'incertitude similaire dans le déphasage et la dispersion. Il est nécessaire d'étalonner l'oscillateur principal avec des étalons reconnus;
- c) le phasemètre non linéaire: le phasemètre doit répondre d'une manière linéaire (ou avec la non-linéarité corrigée mathématiquement) à un signal d'entrée et à une différence de phase de référence, généralement une caractéristique des systèmes électroniques;
- d) le bruit de phase dans l'oscillateur/phasemètre à la bande de fréquences de l'électronique correspondante: ceux-ci généreront du bruit, c'est-à-dire une incertitude de type A au système, qui sera particulièrement évidente pour les hautes puissances reçues, à savoir des fibres plus courtes: une incertitude de type A;
- e) le bruit du détecteur/récepteur optique: celui-ci devient significatif pour de longues fibres lorsque la puissance optique reçue est faible; une incertitude de type A.

### B.4.4 Détermination de la position des franges d'interférence

Dans le cas de méthodes d'interférence, la position des pics de l'enveloppe des franges d'interférence détermine le retard optique et est mesurée directement en balayant la ligne de retard variable optique. Les incertitudes sont connues pour découler des éléments suivants:

- a) l'incertitude de ligne de retard de la position du miroir: il s'agit essentiellement de l'incertitude dans le déplacement de l'étage de translation du miroir, qui doit être étalonné avec des étalons reconnus en utilisant un système de balayage mécanique pendant la fabrication de l'étage de translation, ou un capteur de position étalonné (par exemple un codeur optique) doit être utilisé;
- b) le bruit du récepteur donnera lieu à une incertitude aléatoire de type A de la puissance pendant le balayage, de façon que les algorithmes ajustant la position des pics peuvent être influencés. Cet effet peut être minimisé en maintenant une perte optique faible dans le système, en incluant le couplage de la fibre et en utilisant au cours de l'étalonnage des artefacts.



- e) optical detector/receiver noise: this becomes significant for long fibres where received optical power is low; a random (type A) uncertainty;
- f) any phase shift within the receiver that is sensitive to frequency of operation shall be accounted for.

### **B.4.3 Differential phase shift determination**

For differential phase shift systems, only differences in phase are measured between wavelengths. It is assumed that the phase metering systems, optical receiver, etc. are insensitive to the number of complete  $2\pi$  phase cycles delay between the received optical signal and the oscillator input.

The differential phase detection uncertainties arise from the following sources:

- a) master oscillator frequency drift: drift may produce phase shift or even cycle slippage due to the large total delay in the fibre (phase shift is proportional to total delay and frequency). However, the differential phase shift will not reflect this. Instead, the percentage change in oscillator frequency will yield precisely this percentage differential phase shift. Frequency drift away from the nominal value which may be a result of thermal drift, etc. shall be minimized during the measurement time;
- b) oscillator frequency nominal (central) value: a given percentage uncertainty, for example due to ageing, in the nominal master oscillator value will result in similar percentage uncertainty in phase shift and dispersion. It is necessary to calibrate the master oscillator to known standards;
- c) phase meter non-linearity: the phase meter shall respond in a linear (or mathematically corrected non-linear) fashion to the input signal and reference phase difference, usually a characteristic of the electronic systems;
- d) phase noise in master oscillator/phase meter at the relevant electronic frequency band (for example d.c. or at wavelength modulation frequency): these will contribute noise, i.e. type A uncertainty to the system which will be particularly evident for high received powers, namely shorter fibres; a type A uncertainty;
- e) optical detector/receiver noise: this becomes significant for long fibres where received optical power is low; a type A uncertainty.

### **B.4.4 Interference fringe position determination**

In the case of the interference methods, the interference fringe envelope peak position determines the optical delay and is measured directly by scanning the variable optical delay line. Uncertainties are known to stem from the following:

- a) delay line mirror position uncertainty: this is essentially uncertainty in the mirror translation stage movement, which shall be calibrated to known standards using a mechanical scaling system during translation stage manufacture, or a calibrated position sensor (for example optical encoder) shall be used;
- b) receiver noise will result in random (type A) uncertainty of power during the scan, so that peak position fitting algorithms can be influenced. This effect can be minimized by maintaining a low optical loss in the system, including fibre coupling and during calibration using artefacts.

#### B.4.5 Incertitude électronique du facteur d'échelle

Un élément fondamental de tout instrument CD est la conversion du signal de dispersion du retard en un signal électronique. Tout traitement postérieur dans le domaine électronique sera sujet à une incertitude d'échelle/gain, à une dérive thermique, à un vieillissement, etc. Ces effets peuvent être optimisés par une conception particulièrement soignée. Cependant, il est nécessaire d'étalonner le retard total ou le facteur d'échelle de dispersion comme indiqué en 3.3 pour corriger ces effets.

#### B.4.6 Incertitude de plage de temps de retard et de déphasage

Il est normal de prévoir des ensembles d'essai CD destinés à être utilisés sur des fibres allant de 1 km à plus de 100 km.

Dans le cas des systèmes de mesure du retard d'impulsion, ceci signifie simplement que le générateur de retard doit fonctionner à des valeurs de retard suffisamment grandes, si possible proche du retard nul avec une taille de pas/résolution et une linéarité suffisantes. L'incertitude due à ces sources doit être évaluée. En pratique, les techniques numériques de retard rendent toutes ces sources d'incertitudes négligeables.

Dans le cas de systèmes de déphasage ou de déphasage différentiel, il convient que le système de déphasage ne provoque, en aucun point, d'incertitudes dues au glissement de cycle, à la surcharge ou à la sous-charge du signal sur la plage entière des longueurs de fibre rencontrées. En pratique, il peut être nécessaire de sélectionner la fréquence source de modulation ou, dans le cas de systèmes de déphasage différentiel, également la valeur du niveau de longueur d'onde  $\Delta\lambda$  pour éviter ces problèmes (voir C.3.3). Chaque fréquence ou valeur  $\Delta\lambda$  sélectionnée doit avoir ses incertitudes associées identifiées et appliquées à des moments appropriés au cours des mesures CD et de l'étalonnage.

#### B.4.7 Incertitudes de calcul

Beaucoup d'ensembles d'essai CD utilisent des micro-ordinateurs pour traiter les données brutes. Une précision numérique suffisante doit être fournie pour s'assurer que les incertitudes de calcul, les arrondies, etc. sont négligeables. Ceci s'applique en particulier lorsque l'ajustement des données de retard ou des données de dispersion est appliquée aux moindres carrés.

### B.5 Effets de modélisation de la dispersion

L'utilisation d'un ajustement de données précis est primordial et constitue une source potentielle d'erreurs. Pour les méthodes de déphasage et de retard d'impulsion,  $\lambda_0$ ,  $S_0$  et la dispersion estimée sont obtenus à partir de la dérivée d'un ajustement fonctionnel par rapport aux données de mesure du retard de groupe. Beaucoup de modèles empiriques existent, par exemple le modèle Sellmeier à 3 termes, le modèle polynomial à 5 termes. Pour la méthode de déphasage différentiel, les mesures de dispersion aux longueurs d'onde de mesure peuvent être obtenues directement sans recourir à ces fonctions d'ajustement. Cependant, de façon à obtenir  $\lambda_0, S_0$  et la dispersion aux longueurs d'onde intéressantes autres que celles utilisées pour les mesures, les valeurs mesurées de la dispersion doivent être ajustées à la dérivée de la fonction mathématique correspondante qui pourrait être utilisée pour les méthodes de déphasage et de retard d'impulsion.

Plusieurs règles doivent être appliquées lorsque l'on utilise des ajustements de données:

- a) il convient d'avoir l'ajustement de données/modèle appropriés pour la fibre en essai (voir Article C.4), par exemple le Sellmeier à 3 termes s'adapte à une fibre non décalée;
- b) il convient d'utiliser l'ajustement de données sur une plage de longueurs d'onde suffisamment étroite de façon que l'ajustement de données sélectionné soit reconnu pour être précis. Cela peut être déterminé par des essais normalisés de 'bonne adaptation' sur les résultats d'ajustement de données.

#### **B.4.5 Electronic scale factor uncertainty**

A fundamental part of any CD instrument is the conversion of the delay dispersion signal to an electronic one. All post-processing in the electronic domain will be subject to scale/gain uncertainty, thermal drift, ageing, etc. These effects can be optimized by careful design. However, it is necessary to calibrate the total delay or dispersion scale factor as in 3.3 to correct for these effects.

#### **B.4.6 Time delay and phase shift range uncertainty**

It is normal to expect CD test sets to perform on fibres from 1 km to in excess of 100 km.

In the case of pulse delay measurement systems, this simply means the delay generator shall operate up to a sufficiently large delay value, possibly from near zero delay with sufficient step size/resolution and linearity. Uncertainty due to these sources shall be evaluated. In practice, digital delay techniques render all these sources of uncertainty negligible.

In the case of phase shift and differential phase shift systems, at no point should the phase shift system cause uncertainty due to cycle slippage, signal overload, or underload over the entire range of fibre lengths to be encountered. In practice, it may be necessary to select the source modulation frequency or in the case of differential phase shift systems also the value of wavelength step  $\Delta\lambda$  to avoid these problems (see C.3.3). Each frequency or  $\Delta\lambda$  value selected shall have its associated uncertainties identified and applied at the appropriate times in the course of CD measurements and calibration.

#### **B.4.7 Computational uncertainties**

Many CD test sets use microcomputers to process raw data. Sufficient numerical accuracy shall be provided to ensure that computational uncertainties, rounding, etc. are negligible. This is particularly relevant when least squares delay or dispersion data fitting is applied.

### **B.5 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  $\lambda_0, S_0$  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  $\lambda_0, S_0$  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 C.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) la plage de longueurs d'onde sélectionnée, le nombre et la position des points ont un palier sur les résultats finaux d'ajustement de données. Il est donc primordial de réaliser la comparaison de dispersion (vérifier la procédure d'étalonnage, Article 7) sur des fibres de référence en utilisant les paramètres identiques sur les ensembles d'essai CD impliqués.

Dans la méthode de déphasage différentiel, l'approximation linéaire utilisée provoque une incertitude supplémentaire; cependant en pratique, aux valeurs de  $\Delta\lambda$  suffisamment petites (voir C.3.3), l'incertitude est en fait négligeable par rapport aux besoins et intentions mais néanmoins elle peut être corrigée mathématiquement à zéro pour tous les types de fibres chaque fois qu'un ajustement de données de dispersion est utilisé.

## **B.6 Incertitudes liées à la fibre**

### **B.6.1 Modes de second ordre**

Les mesures de dispersion sont normalement limitées aux longueurs d'onde au-dessus de la longueur d'onde de coupure réelle dans les fibres pour télécommunication; c'est-à-dire 1 270 nm. Cependant, la présence de modes d'ordre plus élevé dans la fibre entraînera une incertitude de mesure de dispersion et alors il est essentiel pour l'étalonnage de garantir le fonctionnement uniquement dans la région au-dessus de la coupure de la fibre. Cette règle s'applique à toutes les fibres en essai ainsi qu'à toutes les parties de fibre optique de l'ensemble d'essai CD. Alternativement, un filtre adapté au mode de la fibre doit être utilisé pour enlever les modes d'ordre plus élevé, si les mesures de dispersion sont faites près de ou en dessous des longueurs d'onde de coupure de la fibre qui sont attendues.

### **B.6.2 Absorption d'ions d'oxyhydroxyle (OH<sup>-</sup>)**

Les pics d'absorption d'hydroxyle (OH<sup>-</sup>) à 1 240 nm et à 1 380 nm sont normalement presque absents dans les fibres modernes de haute qualité. Cependant, en présence d'un large pic d'OH<sup>-</sup> (par exemple 4 dB km<sup>-1</sup>) et à proximité de ce pic, certaines modifications de la dispersion peuvent se produire. Ceci affectera la précision de l'étalonnage de la dispersion. On doit prendre des précautions a) pour éviter les régions de 1 240 nm et 1 380 nm et/ou b) pour fournir des mesures d'étalonnage uniquement pour des fibres à faible OH<sup>-</sup>.

### **B.6.3 Perte totale de la fibre**

Pour établir les effets de l'équipement, les incertitudes de l'affaiblisseur optique ou électrique, il est nécessaire de caractériser les mesures de dispersion sur la fibre avec une perte variable supplémentaires ajoutée dans la série. Il convient que la variation de dispersion, avec la perte supplémentaire, jusqu'à la limite de la plage dynamique de l'ensemble d'essai CD, soit établie pour déterminer l'incertitude possible lors d'un fonctionnement sur toutes les plages de pertes.

En dernier lieu, la plage dynamique de l'ensemble d'essai sera liée aux effets combinés de la perte totale et de la dispersion totale de la fibre en essai. Pour cette raison, il convient que cette approche d'affaiblisseur en série ne soit pas traitée comme un indicateur complet ou précis des incertitudes causées par la perte de la fibre.

### **B.6.4 Réflexions optiques**

Les réflexions aux niveaux des interfaces à l'intérieur des systèmes optiques de l'ensemble d'essai CD et de la fibre donneront lieu à des chemins rétrogrades de retard entre la source et le détecteur. Ceci engendrera une distorsion d'impulsion ou un décalage de phase au niveau du détecteur, qui biaisera les résultats de dispersion. Il est essentiel de maintenir les réflexions aussi petites que possible par une conception optique appropriée, par des connecteurs de faible réflectivité, par des méthodes d'épissurage de fibre à indice adapté, etc. Pour maintenir une précision en dessous de 0,01 ps × nm<sup>-1</sup> × km<sup>-1</sup>, il est généralement nécessaire de ne pas maintenir plus de -30 dB à chaque point de réflexion (par exemple des connecteurs) et de limiter le nombre de points de réflexion à un strict minimum.

- 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 (check calibration procedure, Clause 7) 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 C.3.3), the uncertainty is to all intents and purposes negligible but nevertheless may be mathematically corrected to zero for all fibre types whenever a dispersion data fit is used.

## **B.6 Fibre related uncertainties**

### **B.6.1 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.

### **B.6.2 OH<sup>-</sup> absorption**

The hydroxyl (OH<sup>-</sup>) 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<sup>-1</sup>) OH<sup>-</sup> peak and in the vicinity of this peak, some dispersion modification may occur. This will affect dispersion calibration accuracy. Care shall be taken to a) avoid the 1 240 nm and 1 380 nm regions and/or b) to provide calibrated measurements only on low OH<sup>-</sup> fibres.

### **B.6.3 Total fibre loss**

To establish the effects of the equipment, optical and electrical attenuator uncertainties, it is necessary to characterize dispersion measurements on 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.

### **B.6.4 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<sup>-1</sup> × km<sup>-1</sup>, 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.

## **B.7 Incertitudes de dispersion du système**

Tous les ensembles d'essai CD apportent leurs propres dispersions chromatiques aux mesures de la fibre. Ceci peut être dû

- a) au retard d'impulsion ou aux erreurs de phase entre les sources discrètes qui ne sont pas convenablement compensées; ou
- b) au retard chromatique interne à l'intérieur des sources LED.

Dans tous les cas, une mesure du «système» doit être prise avec une fibre d'essai de faible longueur (~ 1 m à 5 m de long) et cette mesure est utilisée pour compenser les résultats des fibres réelles pour les effets décrits. La mesure sur la fibre de faible longueur peut exiger que l'affaiblisseur optique soit utilisé pour minimiser l'effet des déphasages dépendants du niveau.

La «mesure de référence du système» doit être répétée et la compensation mise à jour à des intervalles réguliers (dépendant de la précision de mesure cible et de la stabilité du retard interne des sources de lumière par rapport au temps et à la température). La mesure de référence du système doit être soumise à ses propres incertitudes de mesure qui feront partie des incertitudes de mesure de l'essai.

## **B.7 System dispersion uncertainties**

All CD test sets contribute their own chromatic dispersion to a fibre measurement. This may be due to

- a) pulse delay or phase mismatch between discrete sources which are not properly compensated; or
- b) internal chromatic delay within LED sources.

In either case a "system" measurement shall be taken with a short test fibre (~ 1 m to 5 m long) and this measurement used to compensate actual fibre results for the effects described. The measurement on the short fibre may require that an optical attenuator be used to minimize the effect of level dependent phase shifts.

The "system reference measurement" shall be repeated and the compensation updated at regular intervals (dependent on the measurement accuracy targeted and the internal delay stability of the light sources over time and temperature). The system reference measurement shall be subject to its own measurement uncertainties which will compound with the test measurement uncertainties.

## Annexe C (informative)

### Dispersion chromatique

#### C.1 Dispersion chromatique dans les fibres

La dispersion chromatique est la variation de la longueur d'onde du retard de groupe de la lumière se propageant le long d'une fibre optique unimodale. Elle est définie en termes de variation de retard par unité de variation en longueur d'onde et est normalisée à la longueur de la fibre.

Le coefficient de dispersion chromatique est mesuré en unités de  $\text{ps} \times \text{nm}^{-1} \times \text{km}^{-1}$ , c'est-à-dire variation de retard en picosecondes par variation de la largeur spectrale de la source en nanomètres par la longueur de la fibre en kilomètres.

La valeur mesurée et l'effet de la dispersion chromatique sont indépendants de la direction de propagation de la lumière dans la fibre et sont seulement faiblement dépendants de la courbure et de la température de la fibre (voir B.3.2).

La dispersion chromatique provient de

- a) la dispersion du matériau dans la fibre;
- b) les effets de dispersion du profil et du guide d'onde associés à la structure réelle du guide d'onde et au profil de l'indice de réfraction.

La variation totale de dispersion en longueur d'onde est particulièrement intéressante dans les régions de longueurs d'onde où la dispersion devient nulle (c'est-à-dire à l'endroit où la capacité conductrice de l'information de la fibre est maximale). Ce(s) point(s) se situe(nt) généralement dans la plage spectrale de 1 270 nm à 1700 nm.

#### C.2 Description des ensembles d'essai de la dispersion chromatique

Un ensemble d'essai de la dispersion chromatique (CD) est un instrument qui peut mesurer la dispersion chromatique des fibres optiques unimodales en fonction de la longueur d'onde (voir Figure C.1).

L'instrument peut être constitué d'une seule unité, par exemple dans des environnements de production/QA de fibres. Sinon, lorsqu'une fibre installée est soumise à des mesures, il peut être nécessaire de séparer l'instrument en unités d'émission et de réception (mobiles) qui peuvent être mises en fonctionnement à chaque extrémité de la fibre. La présente norme s'applique aux deux types d'instruments.

De nombreux ensembles d'essai CD fonctionnent dans les gammes d'onde 1 310 nm et/ou 1 550 nm lorsqu'il y a de faibles pertes optiques dans les fibres optiques normalisées en silice. Un résultat typique de sortie pourrait être visualisé sous forme de graphiques montrant le retard de groupe en fonction de la longueur d'onde, la dispersion en fonction de la longueur d'onde et deux paramètres:

- a) la (les) longueur(s) d'onde ( $\lambda_0$ ) à la dispersion nulle, le (les) point(s) au(x)quel(s) la dispersion est nulle;
- b) la (les) pente(s) à la dispersion nulle ( $S_0$ ), la (les) pente(s) de la courbe de dispersion, en unités de  $\text{ps} \times \text{nm}^{-1} \times \text{km}^{-1}$ , aux longueurs d'onde à la dispersion nulle.



## Annex C (informative)

### Chromatic dispersion

#### C.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 B.3.2).

Chromatic dispersion arises from

- a) material dispersion in the fibre;
- 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.

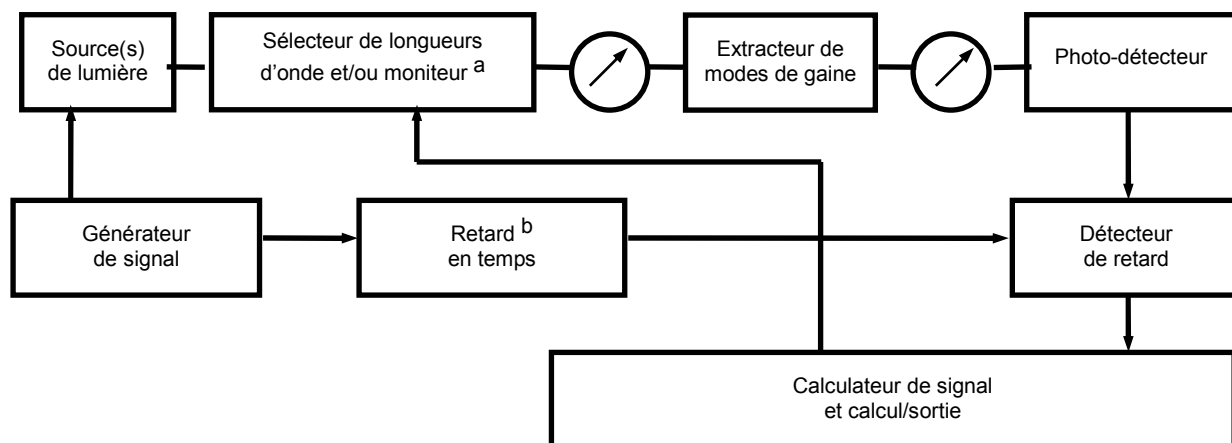
#### C.2 Description of chromatic dispersion test sets

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 C.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 standard 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) ( $\lambda_0$ ), 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).



IEC 1335/05

<sup>a</sup> Lorsque cela est nécessaire (ce dispositif est parfois situé entre la fibre en essai et le photodétecteur).

<sup>b</sup> Lorsque cela est nécessaire.

**Figure C.1 – Diagramme schématique d'un ensemble d'essai CD**

### C.3 Techniques de mesure

Plusieurs techniques de mesure de la dispersion chromatique sont communément utilisées: Les techniques suivantes (CEI 60793-1-1) sont traitées ici:

- la méthode de retard d'impulsion;
- la méthode de déphasage;
- la méthode de déphasage différentiel;
- la méthode interférométrique.

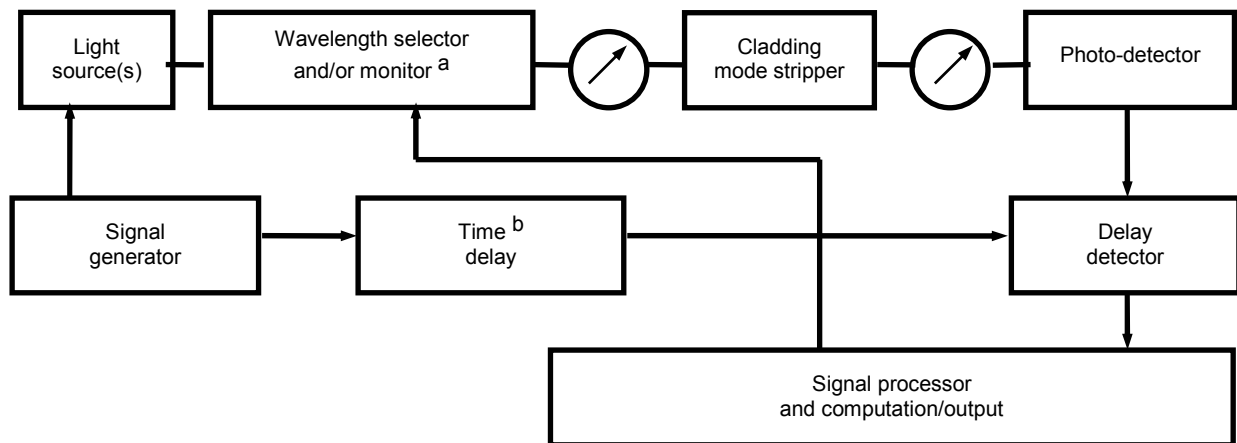
Ces méthodes sont aussi décrites dans l'UIT-T Rec. G.650 (voir bibliographie).

Les méthodes de retard d'impulsion, interférométrique et de déphasage mesurent le retard de groupe d'une fibre à un nombre spécifique de longueurs d'onde. Cette donnée de retard est équipée d'une fonction mathématique, agréée et appropriée. La dispersion aux différentes longueurs d'onde est alors estimée en calculant la dérive en longueur d'onde de l'ajustement fonctionnel. La méthode de déphasage différentiel mesure les différences de retard entre deux longueurs d'onde adjacentes et est ainsi capable d'estimer directement la dispersion de sortie.

Les fonctions d'ajustement sont nécessaires pour toutes les méthodes pour évaluer la longueur d'onde  $\lambda_0$  à la dispersion nulle et la pente  $S_0$  à la dispersion nulle (voir article C.4).

#### C.3.1 Méthode de retard d'impulsion

La lumière d'un laser à impulsions (ou source laser Raman) passe dans la fibre d'essai jusqu'à un détecteur/préamplificateur rapide. La forme d'onde de l'impulsion du signal du détecteur est affichée sur un oscilloscope d'échantillonnage ou un calculateur de forme d'onde qui est déclenché par un générateur de retard approprié. Un micro-ordinateur enregistre le retard complet de la forme d'onde du signal par rapport au moment de l'apparition de l'impulsion de lumière (entrée d'origine) à différentes longueurs d'onde et réalise le calcul de l'ajustement des données de retard et de la dispersion.



IEC 1335/05

<sup>a</sup> When needed (this device is sometimes located between the fibre under test and the photodetector).

<sup>b</sup> When needed.

**Figure C.1 – Schematic diagram of a CD test set**

### C.3 Measurement techniques

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

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

These methods are also each described in ITU-T Rec. G.650 (see bibliography).

The pulse delay, interferometric 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  $\lambda_0$  and zero dispersion slope  $S_0$  (see Clause C.4).

#### C.3.1 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.

### C.3.2 Méthode de déphasage

Le retard de groupe de la fibre est obtenu en mesurant le déphasage obtenu par une lumière monochromatique à intensité modulée sinusoïdalement se propageant à travers la fibre d'essai. Le retard de groupe à différentes longueurs d'onde est lié directement aux valeurs de phase mesurées. Un oscillateur à haute fréquence fournit à la fois l'entrée de modulation aux sources de lumière et un signal de référence au système de phasemètre. Un microprocesseur réalise les calculs de retard (en utilisant un nombre de sources lasers ou une source large bande et un système monochromateur), l'ajustement des données et le calcul de la dispersion.

### C.3.3 Méthode de déphasage différentiel

La dispersion est mesurée directement en mesurant le retard de groupe différentiel  $\Delta\tau$  entre les longueurs d'onde adjacentes séparées de  $\Delta\lambda$ . La dispersion est déterminée à partir de la quantité  $\Delta\tau/\Delta\lambda$ . Le retard différentiel est mesuré en utilisant la méthode de déphasage de l'une des manières suivantes:

- a) soustraction mathématique des retards de groupe obtenus par une adaptation de la méthode de déphasage;
- b) utilisation de deux récepteurs optiques, un pour chaque longueur d'onde d'essai, et mesure des phases relatives du signal;
- c) utilisation de la modulation en longueur d'onde pour produire la valeur électrique de la dispersion (parfois désigné comme une «double démodulation»).

Un microprocesseur enregistre les données de retard différentiel ou de dispersion et réalise l'ajustement de dispersion si cela est exigé.

### C.3.4 Méthode interférométrique

Cette méthode fonctionne en utilisant les interférences entre la lumière qui est passée à travers la fibre et la lumière qui a été retardée à l'aide d'une ligne de retard optique à l'intérieur d'un interféromètre Mach-Zehnder. On peut faire varier la ligne de retard en longueur afin de déterminer le retard et la dispersion dans la fibre d'essai. Cette méthode utilise des fibres relativement courtes (plusieurs mètres de longueur).

Le retard est obtenu directement en mesurant la différence de chemin optique induite à l'aide d'une ligne de retard variable. L'enveloppe des franges d'interférence est détectée et récoltée en fonction de la position de la ligne de retard, puis stockée en mémoire. Un microprocesseur réalise les calculs de a) sur les données de l'enveloppe stockées afin de déterminer le retard de la fibre à la longueur d'onde de la source de lumière, de b) afin d'ajuster les données de retard et de c) afin de calculer la dispersion chromatique.

## C.4 Spécifications de la dispersion chromatique de la fibre

Les fibres peuvent être regroupées en trois types principaux par rapport à leurs caractéristiques de dispersion et à leur spécification.

### a) Fibres à dispersion non décalée

Celles-ci présentent une longueur d'onde à la dispersion nulle dans la région des 1 310 nm. Les caractéristiques de dispersion peuvent être modélisées précisément par l'équation de Sellmeier à 3 termes à l'intérieur de la région des 1 310 nm, ou par l'équation de Sellmeier à 5 termes sur une plage de longueurs d'onde plus large. Elles sont équivalentes aux fibres décrites par la Recommandation UIT-T Rec. G.652 ou par la CEI 60793-1-1, type B1.

### C.3.2 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.

### C.3.3 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) by 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.

### C.3.4 Interferometric method

This method operates using the interference of light which has passed through the fibre and light which has been delayed using an optical delay line within a Mach-Zehnder interferometer. The delay line can be varied in length to determine the delay and dispersion in the test fibre. This method uses relatively short fibres (several metres in length).

Delay is measured directly by measuring the optical path difference induced using the variable delay line. The interference fringe envelope is detected and acquired as a function of delay line position and stored to memory. A microprocessor performs calculations a) on the stored envelope data to determine the fibre delay at the light source wavelength, b) to fit the delay data and c) to calculate chromatic dispersion.

## C.4 Fibre chromatic dispersion specifications

Fibres may be grouped into three main types in terms of their dispersion characteristics and specification.

### 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. Equivalent to fibres described by ITU-T Rec. G.652 or IEC 60793-1-1, type B1.

**b) Fibres à dispersion décalée**

Celles-ci présentent une dispersion nulle à une longueur d'onde qui est significativement plus grande que 1 310 nm, typiquement autour des 1 550 nm, dont la dispersion est modélisée précisément en utilisant un ajustement quadratique des données de retard (ou de façon équivalente par un ajustement linéaire de la dispersion) à l'intérieur d'une plage spécifique de longueurs d'onde autour de  $\lambda$  zéro, ou par l'équation de Sellmeier à 5 termes sur une plage de longueurs d'onde plus large. Ceci est équivalent aux fibres décrites par la Recommandation UIT-T Rec. G.653 ou par la CEI 60793-1-1 type B2.

**c) Fibres à dispersion modifiée ou à 'dispersion aplatie'**

Celles-ci présentent plus d'une longueur d'onde à la dispersion nulle pour laquelle aucun ajustement approuvé de données n'existe à présent (bien que l'équation de Sellmeier à 5 termes soit généralement acceptée comme un ajustement utile dans les principales régions de longueurs d'onde considérées, équivalent aux fibres décrites par la CEI 60793-1-1, type B3).

**d) Fibres à dispersion non nulle**

Celles-ci présentent une dispersion chromatique faible mais finie dans la gamme d'onde des 1 550 nm. Aucun ajustement approuvé de données n'existe à présent (bien que l'équation de Sellmeier à 5 termes peut être acceptable comme un ajustement utile dans les principales régions de longueurs d'onde considérées. Elles sont équivalentes aux fibres décrites par l'UIT-T Recommandation G.655 ou par la CEI 60793-1-1, type B4).

**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. Equivalent to fibres described by ITU-T Rec. G.653 or IEC 60793-1-1 type B2.

**c) Dispersion-modified or 'dispersion-flattened' fibres**

These exhibit more than one zero dispersion wavelength for which no approved data fit exists at present (although a 5-term Sellmeier equation is generally accepted as a useful fit in the main wavelength regions of interest), equivalent to fibres described by IEC 60793-1-1, type B3.

**d) 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). These are equivalent to fibres described by ITU-T Recommendation G.655 or IEC 60793-1-1, type B4.

## Annexe D (informative)

### Compensation d'étalonnage de l'ensemble d'essai CD

#### D.0 Introduction

Cette annexe traite de façon plus détaillée de l'utilisation d'une fibre étalonnée de référence (c'est-à-dire qui a été étalonnée pour  $\lambda$  zéro, la pente et la dispersion dans un laboratoire d'étalons nationaux, ou qui est traçable par rapport à un laboratoire d'étalons nationaux) pour compenser l'état d'étalonnage d'un ensemble d'essai CD précédemment étalonné. De telles «fibres étalonnées de référence » peuvent aussi être utilisées pour fournir une vérification d'étalonnage comme indiqué à l'Article 7.

#### D.1 Compensation d'étalonnage

Comme déjà noté, un ensemble d'essai CD qui n'a jamais été étalonné en utilisant les étalons reconnus (artéfacts) en longueur d'onde (voir Article 5) et en retard [dispersion] (voir Article 6) n'est pas conforme à cette procédure. Les ensembles d'essai CD étalonnés conformément à la présente norme seront étalonnés aux limites d'incertitudes dérivées et rapportées (voir Article 8) sur l'enveloppe globale de performances (c'est-à-dire sur toutes les fibres, la plage de longueurs de fibre, la plage de longueurs d'onde, etc.).

Cependant, il est reconnu qu'il est souhaitable d'obtenir un accord numérique plus étroit entre les ensembles d'essai CD ou de mieux connaître les mesures de la fibre par rapport aux résultats obtenus avec les procédures d'étalonnage décrites dans cette norme. En principe, en comparant avec un autre ensemble d'essai CD ou avec une mesure connue de fibre, il est possible d'enlever ou d'égaliser les différences systématiques dans le(s) ensemble(s) d'essai CD à condition que les incertitudes aléatoires (de type A) apparues dans la comparaison soient suffisamment petites (par exemple en moyennant plusieurs mesures). De manière à obtenir un accord numérique, il est de pratique courante de «réinitialiser» l'étalonnage de l'ensemble d'essai CD (c'est-à-dire de compenser ou d'ajuster son étalonnage) en utilisant une (des) fibre(s) étalon(s) spécifique(s) reconnue(s) (traçables) dénommées «fibre(s) de référence étalonnée(s)». Les résultats de mesure sur de telle(s) fibre(s) n'établissent pas uniquement la traçabilité mais, par vérification croisée, permettent également à un groupe spécifique d'ensembles d'essai CD de rapporter numériquement des résultats similaires dans les mêmes conditions. Les incertitudes systématiques (de type B) sont ainsi égalisées pour chaque ensemble d'essais concerné.

Il convient que la compensation d'étalonnage soit utilisée avec précaution. Un ensemble d'essai CD dans un état compensé peut être tracé aux étalons nationaux uniquement si les «conditions de mesure» sous lesquelles l'ensemble d'essai a été compensé (c'est-à-dire quand la fibre de référence étalonnée a été appliquée) sont étroitement adaptées pendant l'utilisation réelle d'une fibre d'essai.

De plus, un ensemble d'essai CD compensé sera étalonné uniquement pour ces mêmes conditions de mesure. En d'autres termes, la compensation peut atteindre un étalonnage plus «satisfaisant» dans des conditions spécifiques, mais aux frais, potentiellement, d'une incertitude d'étalonnage dégradée de l'ensemble d'essai sous d'autres conditions.

Ainsi, il convient que l'ensemble d'essai CD compensé soit uniquement utilisé pour des fibres d'essai où les conditions sont susceptibles d'être très similaires à celles qui sont présentes au moment de la compensation. Idéalement, il convient que les mêmes longueurs d'onde de mesure, le même modèle d'ajustement de données, le même type de fibre (de préférence réalisée par le même processus de fabrication ou le même fabricant) et la même longueur nominale de fibre soient dupliqués avec les fibres d'essai. Des contrôles stricts sont fortement recommandés pour restreindre l'utilisation de l'ensemble d'essai CD uniquement pour les fibres d'essai où cette duplication peut être atteinte.



## Annex D (informative)

### CD test set calibration compensation

#### D.0 Introduction

This annex discusses in more detail the use of a calibrated reference fibre (i.e. a fibre that has been calibrated for lambda zero, slope and dispersion at a national standards laboratory or is traceable to a national standards laboratory) to compensate the calibration state of a previously calibrated CD test set. Such "calibrated reference fibres" can also be used to provide calibration checking as in Clause 7.

#### D.1 Calibration compensation

As already noted, a CD test set never calibrated using the known standards (artefacts) in wavelength (see Clause 5) and delay [dispersion] (see Clause 6) does not conform to this procedure. CD test sets calibrated according to this standard will be calibrated to the derived and reported (see Clause 8) uncertainty limits over its entire performance envelope (i.e. over all fibres, fibre length range, wavelength range, etc.).

However, it is recognized that it is desirable to achieve closer numerical agreement between CD test sets or to known fibre measurements than is possible with the calibration procedures of this standard. In principle, by comparison with another CD test set or a known fibre measurement, it is possible to remove or equalize the systematic differences in the CD test set(s) provided that the random (type A) uncertainties incurred in the comparison are sufficiently small (for example by averaging several measurements). In order to achieve numerical agreement, it is common practice to "re-set" CD test set calibration (i.e. to compensate or adjust its calibration) using specific known fibre (traceable) standard(s) referred to as "calibrated reference fibre(s)". The measurement results on such fibre(s) not only establish traceability but also, by cross-checking, allow a specific group of CD test sets to report numerically similar results under the same conditions. The systematic (type B) uncertainties are thereby equalized for each test set involved.

Calibration compensation should be used with caution. A CD test set in a compensated state can only be traced to national standards if the "measurement conditions" under which the CD test set was compensated (i.e. when the calibrated reference fibre was applied) are closely matched during actual test fibre use.

Furthermore, a compensated CD test set will only be calibrated for those same measurement conditions. In other words, compensation may achieve a more "satisfactory" calibration at the specific conditions, but potentially at the expense of degraded uncertainty of test set calibration at other conditions.

Therefore, the compensated CD test set should only be used for test fibres where the conditions are likely to be very similar to those pertaining at the time of compensation. Ideally, the same measurement wavelengths, data fit model, fibre type (preferably made by same manufacturing process or manufacturer) and nominal fibre length should be duplicated with test fibres. Strict controls are strongly recommended to restrict the use of the CD test set only for test fibres where this duplication can be achieved.

## D.2 Fibres étalonnées de référence

Les fibres étalonnées de référence sont simplement des fibres de référence (voir 3.22) qui ont été étalonnées pour  $\lambda$  zéro, la pente et la dispersion dans un laboratoire des étalons nationaux, ou qui sont traçables par rapport à un laboratoire des étalons nationaux. Une attention spéciale à la sélection de la fibre, à l'étalonnage et à l'emballage (voir 7.2) est généralement exigée. Il est essentiel de s'assurer que les propriétés physiques de la fibre restent constantes pendant la durée de vie et la période d'étalonnage de la fibre étalonnée de référence. De préférence, il convient que la fibre soit connectorisée pour éviter des erreurs dans la longueur de la fibre lors de la préparation de la fibre en vue de son utilisation.

## D.3 Procédure de compensation de l'étalonnage

L'élément suivant est un exemple d'opération typique de compensation utilisant une fibre étalonnée de référence. Ceci peut être répété pour d'autres fibres, par exemple celles d'un type différent

Normalement, lorsqu'une fibre étalonnée de référence est utilisée pour compenser un ensemble d'essai CD, une série de décalages correctifs pour les divers paramètres de la fibre (par exemple la longueur d'onde à la dispersion nulle, la pente à la dispersion nulle, la dispersion, etc.) sont déterminés. Ceux-ci sont appliqués aux mesures ultérieures de la fibre d'essai. Ces décalages peuvent être appliqués manuellement ou, par un logiciel, introduits à l'intérieur des conditions d'étalonnage du montage de l'ensemble d'essai, pour être automatiquement appliquées pendant l'élaboration du rapport de mesure de la fibre d'essai.

Les décalages correctifs réels sont obtenus en comparant les valeurs de  $\lambda$  zéro, les valeurs de pente et les valeurs de la dispersion de manière que le type de fibre étalonnée de référence utilisée puisse limiter la région de longueurs d'onde sur laquelle la compensation d'étalonnage peut être appliquée.

Par exemple, la pratique normale impliquerait l'utilisation d'une fibre étalonnée à dispersion non décalée (C.4 a)) à appliquer uniquement à la gamme d'ondes des 1 300 nm, et une fibre à dispersion décalée (voir C.4 b)) à appliquer uniquement à la gamme d'ondes des 1 550 nm.

Une procédure typique de compensation utilisant un fibre étalonnée de référence devrait être comme suit:

- a) établir que les exigences des équipements d'essai sont satisfaites (voir 4.2.3);
- b) établir que les conditions d'environnement d'essai sont satisfaites (voir 4.2.2);
- c) ajuster l'instrument de l'ensemble d'essai CD aux réglages appropriés pour les procédures de compensation d'étalonnage (voir 4.2.2); ceci inclut, lorsque cela est possible, toutes les conditions de mesure utilisées par le laboratoire des étalons nationaux et documentées dans son certificat d'étalonnage pour la fibre étalonnée de référence, par exemple:
  - 1) longueur(s) d'onde de mesure;
  - 2) modèle d'ajustement des données;
  - 3) utilisation de la valeur de longueur normalisée de la fibre étalonnée de référence;
- d) se référer à l'Annexe B pour considérer les effets et les origines techniques des sources d'incertitude;
- e) si cela est nécessaire, réaliser une mesure de normalisation de la longueur de fibres courtes pour un ensemble d'essai (référence du système) (voir Article B.7);
- f) présenter la fibre étalonnée de référence à l'ensemble d'essai de la dispersion chromatique à l'étude. Utiliser cette valeur de longueur normalisée de fibre et permettre toutes les corrections de longueur pour retirer la fibre pendant la préparation.

## D.2 Calibrated reference fibres

Calibrated reference fibres are simply reference fibres (see 3.22) that have been calibrated for lambda zero, slope and dispersion at a national standards laboratory or are traceable to a national standards laboratory. Special attention to fibre selection, calibration and packaging (see 7.2) is generally required. It is essential to ensure that the fibre physical properties remain constant during the lifetime and calibration period of the calibrated reference fibre. Preferably, the fibre should be connectorized to avoid errors in fibre length when preparing the fibre for use.

## D.3 Calibration compensation procedure

The following is an example of a typical compensation operation using a calibrated reference fibre. This may be repeated for other fibres, for example ones of a different type.

Normally, when a calibrated reference fibre is used to compensate a CD test set, a series of correction offsets for the various fibre parameters (for example zero dispersion wavelength, zero dispersion slope, dispersion, etc.) are determined. These are applied to subsequent test fibre measurement. These offsets may be manually applied or, by software, introduced into the test set calibration set-up conditions, to be automatically applied during test fibre measurement reporting.

The actual correction offsets are obtained by comparing lambda-zero values, slope values and dispersion values so that the type of calibrated reference fibre used may limit the wavelength region over which the calibration compensation may be applied.

For example, normal practice would entail the use of a calibrated dispersion-unshifted fibre (C.4 a)) to apply to only the 1 300 nm waveband, and a dispersion-shifted fibre (see C.4 b)) to apply to only the 1 550 nm waveband.

A typical compensation procedure using a calibrated reference fibre would be as follows:

- 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 compensation procedures (see 4.2.2); this includes, where possible, all measurement conditions used by the national standards laboratory and documented in its calibration certificate for the calibrated reference fibre, for example:
  - 1) measurement wavelength(s);
  - 2) data fit model;
  - 3) use of the calibrated reference fibre standardized fibre length value;
- d) refer to Annex B to consider the effects and technical origins of uncertainty sources;
- e) if necessary perform a short-fibre length test set normalization (system reference) measurement (see Clause B.7);
- f) present the calibrated reference fibre to the CD test set under consideration. Use this fibre's standard length value and allow for any length corrections for removal of fibre during preparation;

- g) déterminer la longueur d'onde  $\lambda_0$ , de la pente  $S_0$  à la dispersion nulle et la (les) valeur(s) de la dispersion de la fibre en utilisant l'ajustement de données et la plage de longueurs d'onde appropriés. Si nécessaire, répéter la mesure plusieurs fois pour égaliser les incertitudes de type A.
- h) comparer la longueurs d'onde et la pente moyenne à la dispersion nulle avec les valeurs de référence sur le certificat d'étalonnage pour la fibre étalonnée de référence. Il convient que ces biais soient spécifiés dans les résultats d'étalonnage. Comparer aussi les valeurs de dispersion et les résidus de l'ajustement des données (si utilisé) pour toutes anomalies. Il est nécessaire d'évaluer l'incertitude des valeurs de la fibre étalonnée de référence et ensuite d'évaluer l'incertitude successive (cumulative) de transfert (voir Figure 4);
- i) calculer les décalages correctifs nécessaires pour atteindre la résultat numérique désiré à partir de l'ensemble d'essai CD après la compensation;
- j) rechercher les anomalies, si cela est nécessaire, réaliser un étalonnage complet de l'ensemble d'essai CD pour les corriger;
- k) répéter les étapes e) à j) pour vérifier que les décalages correctifs ont été correctement calculés et appliqués.
- l) tous les décalages correctifs exigés doivent être rapportés conformément au 7.2, 7.5 et à l'Article 8.

- g) determine zero dispersion wavelength  $\lambda_0$ , slope  $S_0$  and dispersion value(s) of the fibre using the appropriate data fit and wavelength range. If necessary, repeat the measurement several times to average out uncertainties of type A;
- h) compare the average zero dispersion wavelength and slope obtained with the reference values on the calibration certificate for the calibrated reference fibre. These biases should be specified in the calibration results. Compare also the dispersion values and the residuals of the data fit (if used) for any abnormality. It is necessary to evaluate the uncertainty of the calibrated reference fibre values and then to evaluate the successive (cumulative) transfer uncertainty (see Figure 4);
- i) compute the correction offsets necessary to achieve the desired numerical result from the CD test set after compensation;
- j) investigate abnormalities, if necessary perform a full CD test set calibration to correct them;
- k) repeat steps e) to j) to verify that the correction offsets have been correctly computed and applied;
- l) all required correction offsets shall be reported in accordance with 7.2, 7.5 and Clause 8.

## Annexe E (informative)

### Longueur d'onde dans le vide et dans l'air

Normalement, les longueurs d'onde utilisées par l'ensemble d'essai CD sont basées sur la longueur d'onde dans l'air. Cependant, dans certaines applications, il peut être nécessaire de spécifier et d'utiliser la longueur d'onde dans le vide. Celle-ci diffère de la longueur d'onde dans l'air. Cette annexe fournit une explication.

Dans le vide, la longueur d'onde de la lumière est liée à la fréquence optique,  $\nu$ , par la vitesse de la lumière dans le vide,  $c$ . Cependant, dans l'air, la vitesse de la lumière est modifiée par l'indice de réfraction de l'air. Dans l'air, l'indice de réfraction dépend de la température, de la pression et de l'humidité de l'air. C'est pourquoi, les longueurs d'onde varient légèrement avec les conditions ambiantes. La variation est inférieure à 0,05 nm sur une plage normale pour les pressions atmosphériques et pour les températures normales d'une salle. Cependant, étant donné que de telles variations sont indésirables lorsque la précision de la longueur d'onde est importante, certaines applications peuvent demander l'utilisation de la longueur d'onde dans le vide. Les cas typiques sont pour les applications pour systèmes de vitesse binaire élevés à grandes distances où la gestion de la dispersion est critique aux longueurs d'onde de fonctionnement, pour systèmes sous-marins trans-océaniques et systèmes de multiplexage denses en longueur d'onde (DWDM) lorsque les canaux optiques sont dictés par la fréquence optique ou la longueur d'onde dans le vide. Dans le cas de la longueur d'onde dans le vide, la vitesse de la lumière est inchangée et la longueur d'onde dans le vide est constante pour tous les environnements.

La chose la plus importante à garder en mémoire est que les longueurs d'onde dans le vide sont approximativement plus longues de 0,4 nm par rapport aux longueurs d'onde correspondantes dans l'air. Ceci peut conduire à des divergences apparentes de  $\lambda$  zéro si la différence air-vide n'est pas prise en compte. Il est important de rappeler que la caractéristique de dispersion de la fibre est unique – il n'existe qu'une seule courbe de dispersion de la fibre. Le changement de l'air au vide est d'environ 0,4 nm, mais le décalage exact est légèrement différent pour chaque longueur d'onde. L'autre point est que tant que le  $\lambda$  zéro (dans l'air) est environ 0,4 nm plus court que le  $\lambda$  zéro (dans le vide), la dispersion à une longueur d'onde donnée dans l'air sera différente de celle dans le vide d'une quantité dépendante de la pente de dispersion. Ceci est illustré à la Figure E.1.

La formule suivante peut être utilisée pour calculer la longueur d'onde ou la longueur d'onde à la dispersion nulle dans le vide,  $\lambda_{vac}$ , à partir de la longueur d'onde dans l'air,  $\lambda_{air}$ . Suivant l'ouvrage «*Tables of Physical and Chemical Constants* [17]», les corrections sont conduites comme une série de décomposition sur l'indice de réfraction,  $n$ , qui est une fonction de la longueur d'onde, de la température, de la pression et de l'humidité avec une précision estimée d'environ 1 pour  $10^7$ . Les améliorations notables de la précision décrites dans la référence [15] ne sont pas incorporées, étant donné qu'elles vont au-delà des exigences de précision prévisible des ensembles d'essai CD.

## Annex E (informative)

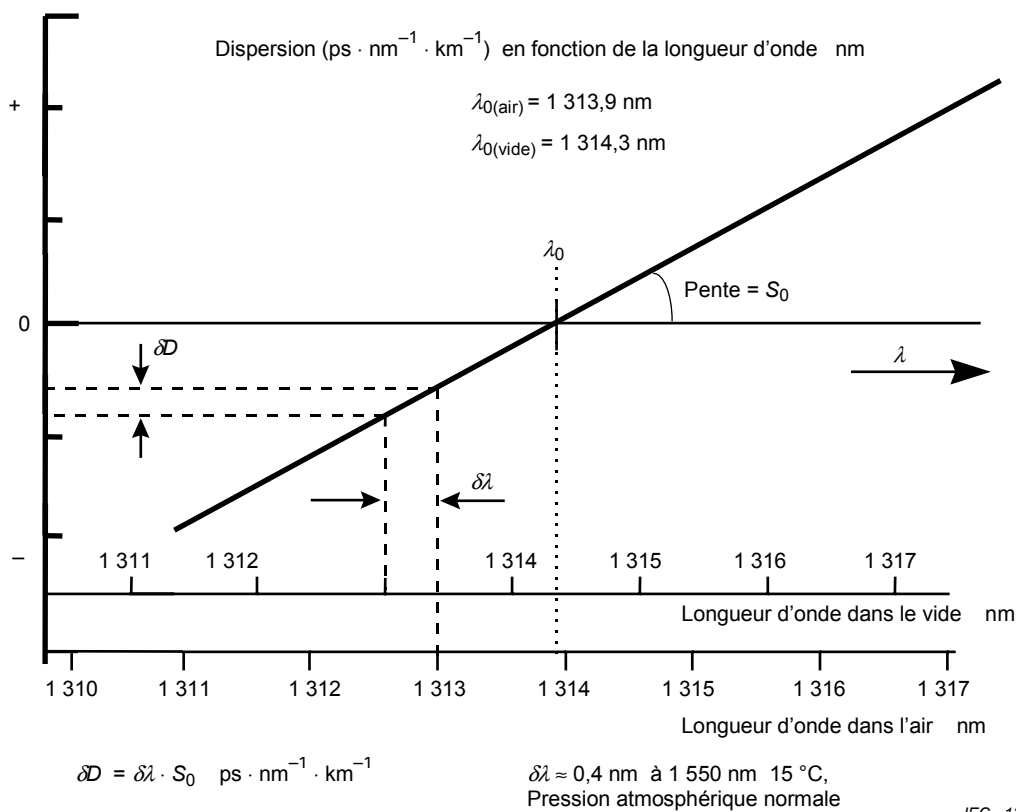
### Vacuum and air wavelength

Normally, the wavelengths used by the CD Test Set are based on the wavelength in air. However, in some applications, it may be necessary to specify and use the wavelength in vacuum. This differs from the air wavelength. This annex provides an explanation.

In vacuum, the wavelength of light is related to the optical frequency,  $\nu$ , by the speed of light,  $c$  in vacuum. However, in air the speed of light is altered by the refractive index of the air. In air, the refractive index is dependent on the air temperature, pressure and humidity. Therefore air wavelengths vary slightly with ambient. The variation is less than 0,05 nm over the normal range of atmospheric pressures and normal room temperatures. However, since any such variation is un-desirable when wavelength accuracy is important, some applications may demand the use of vacuum wavelength. Typical cases are for long-haul high-bit rate systems where dispersion management is critical at the operating wavelength(s), trans-oceanic submarine systems and dense WDM systems where optical channels are dictated by optical frequency or vacuum wavelength. In the case of vacuum wavelength, the speed of light is unchanged and vacuum wavelength is constant for all environments.

The most important thing to remember is that vacuum wavelengths are approximately 0,4 nm longer than the corresponding air wavelength. This can lead to apparent lambda zero discrepancies if the air-vacuum difference is not taken into account. It is important to remember that the fiber dispersion characteristic is unique- there is only one fiber dispersion curve. The change from air to vacuum is ~0,4 nm, but the exact shift is slightly different at each wavelength. The other point is that while lambda zero (in air) is ~0,4 nm shorter than lambda zero (vacuum), the dispersion at a given wavelength in air will differ from that in vacuum by an amount dependent on the dispersion slope. This is illustrated in Figure E.1.

The following formulae may be used to calculate the wavelength or zero-dispersion wavelength in vacuum,  $\lambda_{vac}$ , from wavelength in air,  $\lambda_{air}$ . Following the *Tables of Physical and Chemical Constants* [17], the corrections are conducted as a series of refinements to the refractive index,  $n$ , which is a function of wavelength, temperature, pressure, and humidity, with an estimated accuracy of ~1 part in  $10^7$ . The notable accuracy improvements described in reference [15] are not incorporated, since these are beyond the foreseeable accuracy requirements of CD test sets.



**Figure E.1 – Dispersion et longueur d'onde dans l'air et dans le vide**

La relation de base est:

$$\lambda_{\text{vac}} = n_X \lambda_{\text{air}} \tag{E.1}$$

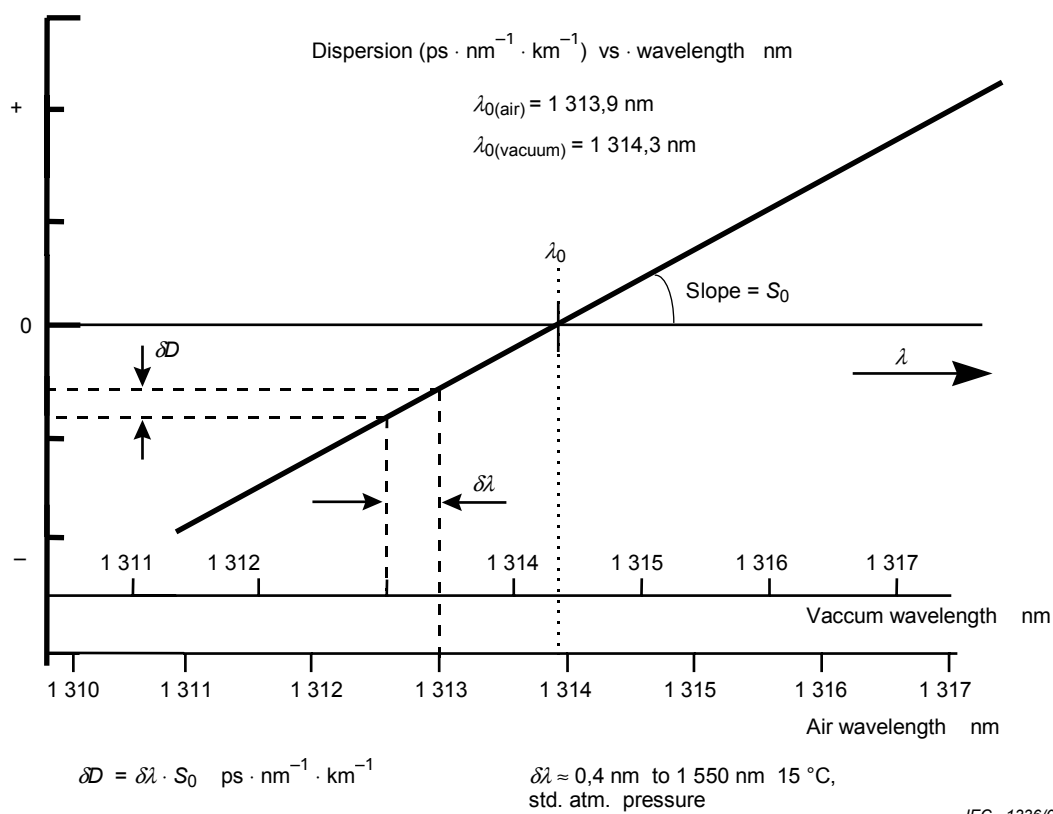
où  $n_X$  est l'indice de réfraction calculé avec divers niveaux de décomposition, indexé par X, comme suit:

- X Corrigé pour:
- g* Air normalisé
- tp* Température et pression
- tpf* Température, pression et humidité

La longueur d'onde dans le vide est représentée par l'équation suivante, pour simplifier la notation:

$$\sigma = \frac{1}{\lambda_{\text{vac}}} \text{ avec } \lambda_{\text{vac}} \text{ en } \lambda\text{m} \tag{E.2}$$





**Figure E.1 – Dispersion and air and vacuum wavelength**

The basic relationship is:

$$\lambda_{\text{vac}} = n_X \lambda_{\text{air}} \quad (\text{E.1})$$

where  $n_X$  is a refractive index computed with varying levels of refinement, indexed by X, as follows:

- X Corrected for:
- g* Standard air
- tp* Temperature and pressure
- tpf* Temperature, pressure, and humidity

Vacuum wavelength is represented by the following, to simplify the notation:

$$\sigma = \frac{1}{\lambda_{\text{vac}}} \text{ with } \lambda_{\text{vac}} \text{ in } \mu\text{m} \quad (\text{E.2})$$

Correction pour l'air normalisé (air sec à 15 °C et pression de 101 325 Pa, contenant 0,03 % par volume de dioxyde de carbone):

$$(n_g - 1)10^8 = 8\,342,13 + 2\,406\,030,0(130,0 - \sigma^2)^{-1} + 15\,997,0(38,9 - \sigma^2)^{-1} \quad (\text{E.3})$$

NOTE La longueur d'onde dans l'air étant donnée, il faut que les équations E.1 et E.3 soient résolues de manière itérative. Cependant, la longueur d'onde dans le vide peut être obtenue à partir de la longueur d'onde dans l'air en utilisant les équations E.1, E.2 et E.3, avec une précision meilleure que  $10^{-5}$  nm sans le besoin d'itération.

$$\sigma_a = \frac{1}{\lambda_{\text{air}}} \text{ avec } \lambda_{\text{air}} \text{ en } \mu\text{m} \quad (\text{E.4})$$

$$(n_g - 1)10^8 = 8\,342,13 + 2\,406\,030,0(130,0 - \sigma_a^2)^{-1} + 15\,997,0(38,9 - \sigma_a^2)^{-1} \quad (\text{E.5})$$

Correction pour la température,  $t$  (°C), et la pression,  $p$  (Pa):

$$n_{tp} - 1 = (n_g - 1) \cdot \frac{p \cdot [1 + p \cdot (61,3 - t) \cdot 10^{-10}]}{(96\,095,4) \cdot (1 + 0,003\,661 \cdot t)} \quad (\text{E.6})$$

Correction pour l'humidité – pression partielle d'H<sub>2</sub>O,  $f$  (Pa):

$$n_{tpf} - n_{tp} = -f \cdot (4,2918 - 0,0342 \cdot \sigma^2) 10^{-10} \quad (\text{E.7})$$

NOTE L'équation E.7 est indiquée comme appropriée dans la région du visible (0,405  $\mu\text{m}$  – 0,644  $\mu\text{m}$ ) uniquement pour des conditions ne divergeant pas beaucoup des conditions normales du laboratoire ( $t = 20$  °C,  $p = 100\,000$  Pa,  $f = 1\,500$  Pa).

Standard air correction (dry air at 15 °C and pressure of 101 325 Pa, containing 0,03 % by volume of carbon dioxide):

$$(n_g - 1)10^8 = 8\,342,13 + 2\,406\,030,0(130,0 - \sigma^2)^{-1} + 15\,997,0(38,9 - \sigma^2)^{-1} \quad (\text{E.3})$$

**Note:** Given the wavelength in air, equation E.1 and E.3 must be solved iteratively. However, the wavelength in vacuum can be derived from the wavelength in air using equations E.1, E.2 and E.3, with better than  $10^{-5}$  nm accuracy *without* the need for iteration:

$$\sigma_a = \frac{1}{\lambda_{\text{air}}} \quad \text{with } \lambda_{\text{air}} \text{ in } \mu\text{m} \quad (\text{E.4})$$

$$(n_g - 1)10^8 = 8\,342,13 + 2\,406\,030,0(130,0 - \sigma_a^2)^{-1} + 15\,997,0(38,9 - \sigma_a^2)^{-1} \quad (\text{E.5})$$

Correction for temperature,  $t$  (°C), and pressure,  $p$  (Pa):

$$n_{tp} - 1 = (n_g - 1) \cdot \frac{p \cdot [1 + p \cdot (61,3 - t) \cdot 10^{-10}]}{(96\,095,4) \cdot (1 + 0,003\,661 \cdot t)} \quad (\text{E.6})$$

Correction for humidity - partial pressure  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $f$  (Pa):

$$n_{tpf} - n_{tp} = -f \cdot (4,2918 - 0,0342 \cdot \sigma^2) \cdot 10^{-10} \quad (\text{E.7})$$

NOTE Equation E-7 is indicated as appropriate in the visible region (0,405  $\mu\text{m}$  – 0,644  $\mu\text{m}$ ) only for conditions not deviating very much from the normal laboratory conditions ( $t = 20$  °C,  $p = 100\,000$  Pa,  $f = 1\,500$  Pa).

## Bibliographie

- [1] EIA/TIA-455-168A:1992, FOTP-168: *Chromatic Dispersion Measurement of Multimode Graded-Index and Single-Mode Optical Fibres by Spectral Group Delay Measurement in the Time Domain*
- [2] EIA/TIA-455-169A:1992, FOTP-169: *Chromatic Dispersion Measurement of Single-Mode Optical Fibres by the Phase Shift Method*
- [3] CEI 61315:1995, *Étalonnage des radiomètres pour fibres optiques*
- [4] CEI 61746:2005, *Étalonnage des analyseurs du spectre optique (OTDRs)*
- [5] ITU-T Recommendation G.650-1:2004, *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable*/ITU-T Recommendation G.650-2:2005, *Definitions and test [*
- [6] Recommandation UIT-T G.651:1998, *Caractéristiques d'un câble à fibres optiques multimodes à gradient d'indice (50/125 µm)*
- [7] Recommandation UIT-T G.652:1997, *Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes*
- [8] Recommandation UIT-T G.653:2003, *Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes à dispersion décalée*
- [9] Recommandation UIT G.655:2003, *Caractéristiques des câbles et fibres optiques monomodes à dispersion décalée non nulle*
- [10] Telcordia GR-761-CORE:1996, *Generic Criteria for Chromatic Dispersion Test Sets*
- [11] Telcordia GR-196-CORE:1995, *Generic Requirements for Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) Type Equipment*
- [12] TIA/EIA-455-175A:1992, FOTP-175: *Chromatic Dispersion Measurement of Single-Mode Optical Fibres by the Differential Phase Shift Method*
- [13] EIA/TIA FO 6.6.1 – 6.6.5 Committees, minutes 1986-1989
- [14] BARLOW, AJ. Techniques for the absolute calibration of chromatic dispersion measuring instruments. *Proc SPIE*, 1987, 841
- [15] BIRCH, KP. and DOWNS, MJ. An Updated Edlen Equation for the Refractive Index of Air. *Metrologia*, 1993, 30, p. 155-162.
- [16] 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
- [17] KAYE, GWC. and LABY, TH. *Tables of Physical and Chemical Constants and some Mathematical Functions*. Longman Group Limited, 1986.
- [18] KITAYAMA, Y. and TANAKA, S. Length dependence of LP<sub>11</sub> mode cut-off and its influence on the chromatic dispersion measurements by phase shift method. *Proc SPIE* 584, p. 229-234
- [19] 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
- [20] SAITO, J., OKI, T., YAMAMOTO, H. *Wavelength Dispersion Measuring Equipment*. NBS Symposium On Optical Fibre Measurements, 1982, p. 29-32.
- [21] CEI 60793-1-1:2000, *Fibres optiques – Partie 1-1: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Généralités et guide*
- [22] ISO 9000 (toutes les parties), *Systèmes de management de la qualité*
- [23] ISO 10012:2003, *Systèmes de management de la mesure – Exigences pour les processus et les équipements de mesure*

## Bibliography

- [1] EIA/TIA-455-168A:1992, FOTP-168: *Chromatic Dispersion Measurement of Multimode Graded-Index and Single-Mode Optical Fibres by Spectral Group Delay Measurement in the Time Domain*
- [2] EIA/TIA-455-169A:1992, FOTP-169: *Chromatic Dispersion Measurement of Single-Mode Optical Fibres by the Phase Shift Method*
- [3] IEC 61315:1995, *Calibration of fibre optic power meters*
- [4] IEC 61746:2005, *Calibration of optical time-domain reflectometers (OTDRs)*
- [5] ITU-T Recommendation G.650-1:2004, *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable*/ITU-T Recommendation G.650-2:2005, *Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable*
- [6] ITU-T Recommendation G.651:1998, *Characteristics of a 50/125  $\mu\text{m}$  multimode graded index optical fibre cable*
- [7] ITU-T Recommendation G.652:2003, *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*
- [8] ITU-T Recommendation G.653:2003, *Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable*
- [9] ITU Recommendation G.655:2003, *Characteristics of a non-zero dispersion shifted single-mode optical fibre and cable*
- [10] Telcordia GR-761-CORE:1996, *Generic Criteria for Chromatic Dispersion Test Sets*
- [11] Telcordia GR-196-CORE:1995, *Generic Requirements for Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) Type Equipment*
- [12] TIA/EIA-455-175A:1992, FOTP-175: *Chromatic Dispersion Measurement of Single-Mode Optical Fibres by the Differential Phase Shift Method*
- [13] EIA/TIA FO 6.6.1 – 6.6.5 Committees, minutes 1986-1989
- [14] BARLOW, AJ. Techniques for the absolute calibration of chromatic dispersion measuring instruments. *Proc SPIE*, 1987, 841
- [15] BIRCH, KP. and DOWNS, MJ. An Updated Edlen Equation for the Refractive Index of Air. *Metrologia*, 1993, 30, p. 155-162.
- [16] 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
- [17] KAYE, GWC. and LABY, TH. *Tables of Physical and Chemical Constants and some Mathematical Functions*. Longman Group Limited, 1986.
- [18] KITAYAMA, Y. and TANAKA, S. Length dependence of LP<sub>11</sub> mode cut-off and its influence on the chromatic dispersion measurements by phase shift method. *Proc SPIE* 584, p. 229-234
- [19] 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
- [20] SAITO, J., OKI, T., YAMAMOTO, H. *Wavelength Dispersion Measuring Equipment*. NBS Symposium On Optical Fibre Measurements, 1982, p. 29-32
- [21] IEC 60793-1-1:2002, *Optical fibres – Part 1-1: Measurement methods and test procedures – General and Guidance*
- [22] ISO 9000 (all parts), *Quality management systems*
- [23] ISO 10012:2003, *Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment*

Copyright International Electrotechnical Commission  
Provided by IHS under license with IEC  
No reproduction or networking permitted without license from IHS



## Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

### **International Electrotechnical Commission**

3, rue de Varembé  
1211 Genève 20  
Switzerland

or

Fax to: **IEC/CSC** at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
Ne pas affranchir



Non affrancare  
No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**

**SUISSE**

Customer Service Centre (CSC)  
**International Electrotechnical Commission**  
3, rue de Varembé  
1211 GENEVA 20  
Switzerland



**Q1** Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: (e.g. 60601-1-1)

.....

**Q2** Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard (tick all that apply). I am the/a:

- purchasing agent
- librarian
- researcher
- design engineer
- safety engineer
- testing engineer
- marketing specialist
- other.....

**Q3** I work for/in/as a: (tick all that apply)

- manufacturing
- consultant
- government
- test/certification facility
- public utility
- education
- military
- other.....

**Q4** This standard will be used for: (tick all that apply)

- general reference
- product research
- product design/development
- specifications
- tenders
- quality assessment
- certification
- technical documentation
- thesis
- manufacturing
- other.....

**Q5** This standard meets my needs: (tick one)

- not at all
- nearly
- fairly well
- exactly

**Q6** If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: (tick all that apply)

- standard is out of date
- standard is incomplete
- standard is too academic
- standard is too superficial
- title is misleading
- I made the wrong choice
- other .....

**Q7** Please assess the standard in the following categories, using the numbers:

- (1) unacceptable,
- (2) below average,
- (3) average,
- (4) above average,
- (5) exceptional,
- (6) not applicable

- timeliness.....
- quality of writing.....
- technical contents.....
- logic of arrangement of contents .....
- tables, charts, graphs, figures.....
- other .....

**Q8** I read/use the: (tick one)

- French text only
- English text only
- both English and French texts

**Q9** Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....







Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

**Commission Electrotechnique Internationale**

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Suisse

ou

Télécopie: **CEI/CSC** +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
Ne pas affranchir



Non affrancare  
No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**

**SUISSE**

Centre du Service Clientèle (CSC)

**Commission Electrotechnique Internationale**

3, rue de Varembé

1211 GENÈVE 20

Suisse



**Q1** Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact: (ex. 60601-1-1)

.....

**Q2** En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction? (cochez tout ce qui convient)  
Je suis le/un:

- agent d'un service d'achat
- bibliothécaire
- chercheur
- ingénieur concepteur
- ingénieur sécurité
- ingénieur d'essais
- spécialiste en marketing
- autre(s).....

**Q3** Je travaille: (cochez tout ce qui convient)

- dans l'industrie
- comme consultant
- pour un gouvernement
- pour un organisme d'essais/ certification
- dans un service public
- dans l'enseignement
- comme militaire
- autre(s).....

**Q4** Cette norme sera utilisée pour/comme (cochez tout ce qui convient)

- ouvrage de référence
- une recherche de produit
- une étude/développement de produit
- des spécifications
- des soumissions
- une évaluation de la qualité
- une certification
- une documentation technique
- une thèse
- la fabrication
- autre(s).....

**Q5** Cette norme répond-elle à vos besoins: (une seule réponse)

- pas du tout
- à peu près
- assez bien
- parfaitement

**Q6** Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes: (cochez tout ce qui convient)

- la norme a besoin d'être révisée
- la norme est incomplète
- la norme est trop théorique
- la norme est trop superficielle
- le titre est équivoque
- je n'ai pas fait le bon choix
- autre(s) .....

**Q7** Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres (1) inacceptable, (2) au-dessous de la moyenne, (3) moyen, (4) au-dessus de la moyenne, (5) exceptionnel, (6) sans objet

- publication en temps opportun .....
- qualité de la rédaction.....
- contenu technique .....
- disposition logique du contenu .....
- tableaux, diagrammes, graphiques, figures .....
- autre(s) .....

**Q8** Je lis/utilise: (une seule réponse)

- uniquement le texte français
- uniquement le texte anglais
- les textes anglais et français

**Q9** Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....





ISBN 2-8318-8178-1



9 782831 881782

---

**ICS 33.180.01**

---

Typeset and printed by the IEC Central Office  
GENEVA, SWITZERLAND