

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60793-1-42

Première édition
First edition
2001-07

Fibres optiques –

**Partie 1-42:
Méthodes de mesure et procédures d'essai –
Dispersion chromatique**

Optical fibres –

**Part 1-42:
Measurement methods and test procedures –
Chromatic dispersion**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60793-1-42:2001

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)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/catlg-f.htm) 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/JP.htm) 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
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)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/catlg-e.htm) 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/JP.htm) 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
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60793-1-42

Première édition
First edition
2001-07

Fibres optiques –

Partie 1-42:

**Méthodes de mesure et procédures d'essai –
Dispersion chromatique**

Optical fibres –

Part 1-42:

**Measurement methods and test procedures –
Chromatic dispersion**

© IEC 2001 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
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	10
1 Domaine d'application	12
2 Références normatives	12
3 Vue d'ensemble des méthodes	14
3.1 Méthode A – Déphasage	14
3.2 Méthode B – Temps de propagation de groupe dans le domaine temporel	14
3.3 Méthode C – Déphasage différentiel	14
3.4 Méthode D – Interférométrie	14
4 Méthodes d'essai de référence	16
4.1 Fibres multimodales, catégorie A1	16
4.2 Fibres unimodales, classe B	16
5 Appareillage	16
5.1 Composants optiques d'injection	16
5.2 Filtre de modes d'ordre supérieur (fibres unimodales)	16
5.3 Appareillage du positionnement de l'entrée	16
5.4 Appareillage du positionnement de la sortie	18
5.5 Equipement de calcul	18
6 Echantillonnage et échantillons à l'essai	18
6.1 Longueur de l'échantillon à l'essai	18
6.2 Face d'extrémité de l'échantillon à l'essai	18
6.3 Fibre de référence	18
7 Procédure	18
8 Calculs	18
8.1 Fibres multimodales de catégorie A1 et fibres unimodales de catégorie B1	20
8.2 Fibres de catégorie B2	22
8.3 Fibres de catégorie B3	22
8.4 Fibres de catégorie B4	24
9 Résultats	24
9.1 Informations à fournir pour chaque mesure	24
9.2 Informations à fournir sur demande	24
10 Informations à mentionner dans la spécification	24
Annexe A (normative) Prescriptions spécifiques à la méthode A – Déphasage	26
Annexe B (normative) Prescriptions spécifiques à la méthode B – Temps de propagation de groupe dans le domaine temporel	38
Annexe C (normative) Prescriptions spécifiques à la méthode C – Déphasage différentiel	46
Annexe D (normative) Prescriptions spécifiques à la méthode D – Interférométrie	58

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	13
2 Normative references.....	13
3 Overview of methods	15
3.1 Method A – Phase shift.....	15
3.2 Method B – Spectral group delay in the time domain	15
3.3 Method C – Differential phase shift	15
3.4 Method D – Interferometry	15
4 Reference test methods.....	17
4.1 Category A1 multimode fibres.....	17
4.2 Class B single-mode fibres	17
5 Apparatus.....	17
5.1 Launch optics	17
5.2 High-order mode filter (single-mode).....	17
5.3 Input positioning apparatus.....	17
5.4 Output positioning apparatus.....	19
5.5 Computation equipment.....	19
6 Sampling and specimens	19
6.1 Specimen length.....	19
6.2 Specimen end face.....	19
6.3 Reference fibre.....	19
7 Procedure.....	19
8 Calculations.....	19
8.1 Category A1 multimode and B1 single-mode fibres.....	21
8.2 Category B2 fibres.....	23
8.3 Category B3 fibres.....	23
8.4 Category B4 fibres.....	25
9 Results.....	25
9.1 Information available with each measurement.....	25
9.2 Information available upon request	25
10 Specification information.....	25
Annex A (normative) Requirements specific to method A – Phase shift.....	27
Annex B (normative) Requirements specific to method B – Spectral group delay in the time domain	39
Annex C (normative) Requirements specific to method C – Differential phase shift	47
Annex D (normative) Requirements specific to method D – Interferometry	59

Figure A.1 – Montage d'essai de dispersion chromatique – Système à diodes laser multiples (exemple type)	28
Figure A.2 – Courbes typiques des temps de propagation et des dispersions	30
Figure A.3 – Montage d'essai de dispersion chromatique – Système à diodes électroluminescentes (exemple type).....	34
Figure B.1 – Schéma fonctionnel – Système laser à fibre Raman.....	40
Figure B.2 – Schéma fonctionnel – Système à diodes laser multiples.....	42
Figure C.1 – Montage de mesure de dispersion chromatique – Système à laser multiple.....	50
Figure C.2 – Montage de mesure de dispersion chromatique – Système DEL.....	50
Figure C.3 – Montage de mesure de dispersion chromatique de fibres – Phase différentielle par la méthode à double longueur d'onde.....	52
Figure C.4 – Montage de mesure de dispersion chromatique de fibres – Phase différentielle par double démodulation.....	52
Figure D.1 – Système d'essai de la dispersion chromatique des fibres – Interférométrie par trajet de référence dans la fibre	62
Figure D.2 – Système d'essai de la dispersion chromatique des fibres – Interférométrie par trajet de référence dans l'air.....	62
Figure D.3 – Exemple de données de temps de propagation.....	64

Figure A.1 – Chromatic dispersion measurement set – Multiple laser system (typical)	29
Figure A.2 – Typical delay and dispersion curves	31
Figure A.3 – Chromatic dispersion measurement set – LED system (typical)	35
Figure B.1 – Block diagram – Fibre Raman laser system	41
Figure B.2 – Block diagram – Multiple laser diode system	43
Figure C.1 – Chromatic dispersion measurement set – Multiple laser system	51
Figure C.2 – Chromatic dispersion measurement set – LED system	51
Figure C.3 – Fibre chromatic dispersion measurement set – Differential phase by dual wavelength method	53
Figure C.4 – Fibre chromatic dispersion measurement set – Differential phase by double demodulation	53
Figure D.1 – Fibre chromatic dispersion test set – Interferometry by fibre reference path	63
Figure D.2 – Fibre chromatic dispersion test set – Interferometry by air reference path	63
Figure D.3 – Examples of delay data	65

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FIBRES OPTIQUES –

Partie 1-42: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Dispersion chromatique

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes Internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale 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 60793-1-42 a été établie par le sous-comité 86A: Fibres et câbles, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

La présente norme, ainsi que les autres normes de la série CEI 60793-1-4X, annulent et remplacent la deuxième édition de la CEI 60793-1-4, dont elles constituent une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86A/671/FDIS	86A/695/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Les annexes A, B, C et D font partie intégrante de cette norme.

La CEI 60793-1-1 et la CEI 60793-1-2 couvrent les spécifications génériques.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

OPTICAL FIBRES –

**Part 1-42: Measurement methods and test procedures –
Chromatic dispersion**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60793-1-42 has been prepared by subcommittee 86A: Fibres and cables, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

This standard, together with the other standards in the IEC 60793-1-4X series, replaces the second edition of IEC 60793-1-4, of which it constitutes a technical revision.

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

FDIS	Report on voting
86A/671/FDIS	86A/695/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Annexes A, B, C and D form an integral part of this standard.

IEC 60793-1-1 and IEC 60793-1-2 cover generic specifications.

La CEI 60793-1-4X comprend les parties suivantes présentées sous le titre général: Fibres optiques:

- Partie 1-40: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Affaiblissement
- Partie 1-41: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Bande passante
- Partie 1-42: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Dispersion chromatique
- Partie 1-43: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Ouverture numérique
- Partie 1-44: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Longueur d'onde de coupure
- Partie 1-45: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Diamètre du champ de mode
- Partie 1-46: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Contrôle des variations du facteur de transmission
- Partie 1-47: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Pertes dues aux macrocourbures
- Partie 1-48: Méthodes de mesure et procédures d'essai – A l'étude
- Partie 1-49: Méthodes de mesure et procédures d'essai – A l'étude

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2003. A cette date, la publication sera

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

IEC 60793-1-4X consists of the following parts, under the general title: Optical fibres:

- Part 1-40: Measurement methods and test procedures – Attenuation
- Part 1-41: Measurement methods and test procedures – Bandwidth
- Part 1-42: Measurement methods and test procedures – Chromatic dispersion
- Part 1-43: Measurement methods and test procedures – Numerical aperture
- Part 1-44: Measurement methods and test procedures – Cut-off wavelength
- Part 1-45: Measurement methods and test procedures – Mode field diameter
- Part 1-46: Measurement methods and test procedures – Monitoring of changes in optical transmittance
- Part 1-47: Measurement methods and test procedures – Macrobending loss
- Part 1-48: Measurement methods and test procedures – Under consideration
- Part 1-49: Measurement methods and test procedures – Under consideration

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2003. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

Les publications de la série CEI 60793-1 concernent les informations essentielles sur les méthodes de mesures et les procédures d'essai s'appliquant aux fibres optiques.

Cette même série traite des différents domaines regroupés de la façon suivante:

- parties 1-10 à 1-19: Généralités
- parties 1-20 à 1-29: Méthodes de mesure et procédures d'essai des dimensions
- parties 1-30 à 1-39: Méthodes de mesure et procédures d'essai des caractéristiques mécaniques
- parties 1-40 à 1-49: Méthodes de mesure et procédures d'essai des caractéristiques optiques et de transmission
- parties 1-50 à 1-59: Méthodes de mesure et procédures d'essai des caractéristiques d'environnement.

INTRODUCTION

Publications in the IEC 60793-1 series concern measurement methods and test procedures as they apply to optical fibres.

Within the same series several different areas are grouped, as follows:

- parts 1-10 to 1-19: General
- parts 1-20 to 1-29: Measurement methods and test procedures for dimensions
- parts 1-30 to 1-39: Measurement methods and test procedures for mechanical characteristics
- parts 1-40 to 1-49: Measurement methods and test procedures for transmission and optical characteristics
- parts 1-50 to 1-59: Measurement methods and test procedures for environmental characteristics.

FIBRES OPTIQUES –

Partie 1-42: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Dispersion chromatique

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60793 établit des prescriptions uniformes pour mesurer la dispersion chromatique de la fibre optique contribuant ainsi au contrôle des fibres et des câbles dans des relations commerciales.

Quatre méthodes mesurant la dispersion chromatique sont décrites ci-après:

- méthode A: déphasage;
- méthode B: temps de propagation de groupe dans le domaine temporel;
- méthode C: déphasage différentiel;
- méthode D: interférométrie.

Les méthodes A, B et C s'appliquent à la mesure de dispersion chromatique des fibres suivantes dans la plage de longueurs d'onde spécifiée:

- classe A1 fibres multimodales à gradient d'indice;
- classe B fibres unimodales (toutes catégories).

La méthode D s'applique à la mesure de dispersion chromatique des fibres unimodales de catégorie B1 à B3 dans la plage de longueurs d'onde de 1 000 nm à 1 700 nm.

Ces méthodes peuvent être appliquées à des mesures de dispersion chromatiques effectuées en laboratoire, en usine et sur site, et la plage de longueurs d'onde des mesures peut être adaptée aux besoins. Les mesures sont faites à la température comme cela est indiqué dans la CEI 60793-1-1.

Ces méthodes sont appropriées à des longueurs de fibres ou de câbles plus grandes que 1 km. Elles peuvent aussi être appliquées à des longueurs plus courtes, mais fidélité et répétabilité peuvent être compromises. La méthode D est la méthode préférentielle pour des fibres de longueur plus courte (1 m à 10 m).

L'information commune à ces trois méthodes est contenue dans les articles 1 à 8 et l'information propre à chaque méthode individuelle, apparaît respectivement dans les annexes A, B, C et D.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 60793. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 60793 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60793-1-31: *Fibres optiques – Partie 1-31: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Résistance à la traction des fibres optiques*

OPTICAL FIBRES –

Part 1-42: Measurement methods and test procedures – Chromatic dispersion

1 Scope

This part of IEC 60793 establishes uniform requirements for measuring the chromatic dispersion of optical fibre, thereby assisting in the inspection of fibres and cables for commercial purposes.

Four methods are described for measuring chromatic dispersion:

- method A: phase shift;
- method B: spectral group delay in the time domain;
- method C: differential phase shift;
- method D: interferometry.

Methods A, B and C apply to the measurement of chromatic dispersion of the following fibres over a specified wavelength range:

- class A1 graded-index multimode fibres;
- class B single-mode fibres (all categories).

Method D applies to the measurement of chromatic dispersion values of single-mode fibres categories B1 to B3 in the 1 000 nm to 1 700 nm wavelength range.

The methods can be applied to laboratory, factory and field measurements of chromatic dispersion, and the wavelength range of the measurements can be tailored as required. Measurements are made at temperatures as stated in IEC 60793-1-1.

The methods are suitable for fibre or cable lengths greater than 1 km. They may also be applied to shorter lengths, but accuracy and repeatability may be compromised. Method D is the preferred method for shorter piece fibres (1 m to 10 m).

Information common to all three methods is contained in clauses 1 to 8, and information pertaining to each individual method appears in annexes A, B, C and D, respectively.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60793. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 60793 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60793-1-31, *Optical fibres – Part 1-31: Measurement methods and test procedures – Tensile strength of optical fibres*

3 Vue d'ensemble des méthodes

3.1 Méthode A – Déphasage

La présente méthode décrit une procédure permettant de déterminer la dispersion chromatique de toutes les fibres unimodales de type B et des fibres multimodales à gradient d'indice de catégorie A1, dans une plage de longueurs d'onde spécifiée, à l'aide des déphasages relatifs entre des sources optiques de différentes longueurs d'onde modulées sinusoïdalement. Ces sources sont, typiquement des diodes laser ou des diodes électroluminescentes filtrées. Les déphasages relatifs sont convertis en temps de propagation relatifs et les données résultantes en temps de propagation de groupe spectral sont ensuite ajustées par rapport à une équation définie pour chaque type de fibres.

3.2 Méthode B – Temps de propagation de groupe dans le domaine temporel

La présente méthode décrit une procédure permettant de déterminer la dispersion chromatique de toutes les catégories de fibres optiques unimodales de type B et des fibres multimodales à gradient d'indice de catégorie A1, à l'aide d'une source laser Raman Nd: YAG/fibre ou de diodes laser multiples fonctionnant à plusieurs longueurs d'onde, à la fois plus grandes et plus petites que la longueur d'onde typique de dispersion nulle.

Dans cette méthode on mesure, à plusieurs longueurs d'onde, la différence du temps de propagation des impulsions optiques à travers une longueur de fibre connue. Un ensemble de mesures de référence doit aussi être effectué sur une fibre de référence courte et les résultats sont soustraits des valeurs mesurées sur la fibre à l'essai, pour obtenir le temps de propagation relatif de groupe spectral. Les valeurs résultantes du temps de propagation de groupe spectral sont ensuite ajustées par rapport à une équation définie pour chaque type de fibre.

3.3 Méthode C – Déphasage différentiel

La présente méthode décrit une procédure permettant de déterminer la dispersion chromatique de toutes les fibres optiques unimodales de type B et des fibres multimodales à gradient d'indice de catégorie A1. Le coefficient de dispersion à une longueur d'onde particulière est déterminé à partir du temps de propagation de groupe différentiel entre deux longueurs d'onde espacées par un intervalle très réduit.

Dans cette procédure, une source lumineuse modulée est couplée dans la fibre soumise à l'essai et la phase de la lumière sortant de la fibre à une première longueur d'onde est comparée à la phase de la lumière sortant de la fibre à une deuxième longueur d'onde. La dispersion chromatique moyenne sur tout l'intervalle séparant les deux longueurs d'onde est déterminée à partir du déphasage différentiel, de l'intervalle entre les longueurs d'onde et de la longueur de la fibre.

Le coefficient de dispersion chromatique à une longueur d'onde intermédiaire entre les deux longueurs d'onde d'essai est supposé égal à la dispersion chromatique moyenne sur tout l'intervalle séparant les deux longueurs d'onde. Les données résultantes de la dispersion chromatique sont ensuite ajustées par rapport à une équation définie pour chaque type de fibre.

3.4 Méthode D – Interférométrie

La présente méthode décrit une procédure permettant de déterminer la dispersion chromatique des fibres unimodales de catégorie B1 à B3 dans la plage de longueur d'onde de 1 000 nm à 1 700 nm. En utilisant cette méthode, la dispersion chromatique peut être mesurée sur une fibre de courte longueur.

3 Overview of methods

3.1 Method A – Phase shift

This method describes a procedure for determining the chromatic dispersion of all categories of type B single-mode fibres, and category A1 graded-index multimode fibres, over a specified wavelength range using the relative phase shifts among sinusoidally modulated optical sources of different wavelengths. The sources are typically laser diodes or filtered light emitting diodes. Relative phase shifts are converted to relative time delays, and the resultant spectral group delay data are then fitted to an equation defined for each fibre type.

3.2 Method B – Spectral group delay in the time domain

This method describes a procedure for determining the chromatic dispersion of all categories of type B single-mode fibres and category A1 graded-index multimode fibres with the use of an Nd:YAG/fibre Raman laser source or multiple laser diodes operating at a number of wavelengths, both greater than and less than, the typical zero-dispersion wavelength.

In this method, the time difference of optical pulse delay through a known length of fibre at several wavelengths is measured. A reference set of measurements shall also be taken through a short reference fibre and data is subtracted from data taken from the fibre under test to obtain relative spectral group delay. The resultant spectral group delay data is then fitted to an equation defined for each fibre type.

3.3 Method C – Differential phase shift

This method describes a procedure for determining the chromatic dispersion of all categories of type B single-mode fibres and category A1 graded-index multimode fibres. The dispersion coefficient at a particular wavelength is determined from the differential group delay between two closely spaced wavelengths.

In this procedure, a modulated light source is coupled into the fibre under test, and the phase of the light exiting the fibre at a first wavelength is compared with the phase of the light exiting at a second wavelength. Average chromatic dispersion over the interval between the two wavelengths is determined from differential phase shift, wavelength interval, and fibre length.

The chromatic dispersion coefficient at a wavelength medial to the two test wavelengths is assumed to be equal to the average chromatic dispersion over the interval between the two wavelengths. The resultant chromatic dispersion data are then fitted to an equation defined for each fibre type.

3.4 Method D – Interferometry

This method describes a procedure for determining the chromatic dispersion of single-mode fibres of categories B1 to B3 in the over 1 000 nm to 1 700 nm wavelength range. By using this test method, the chromatic dispersion of a short piece fibre can be measured.

Dans cette méthode, le retard en fonction de la longueur d'onde entre l'échantillon à l'essai et le trajet de référence est mesuré avec l'interféromètre Mach-Zehnder. Le trajet de référence peut être un trajet dans l'air ou une fibre unimodale avec un temps de propagation de groupe connu.

Il convient de noter que l'extrapolation sur des sections longues des valeurs de dispersion chromatique tirées d'essais interférométriques sur des fibres de quelques mètres de long, suppose une homogénéité longitudinale de la fibre. Cette supposition peut ne pas être applicable dans tous les cas.

4 Méthodes d'essai de référence

4.1 Fibres multimodales, catégorie A1

Pour les fibres multimodales de la catégorie A1, la méthode B, temps de propagation de groupe dans le domaine temporel, est la méthode d'essai de référence (MER), qui doit être celle utilisée pour régler les contestations.

4.2 Fibres unimodales, classe B

Pour toutes les catégories des fibres unimodales de la classe B, la méthode A, déphasage, est la méthode d'essai de référence (MER). La méthode C, déphasage différentiel, peut, elle aussi, être utilisée pour régler les contestations.

5 Appareillage

L'appareillage suivant est commun à toutes les méthodes de mesure. Les annexes A, B, C et D comprennent des dessins et des prescriptions sur les autres équipements qui s'appliquent à chacune des méthodes A, B, C et D.

5.1 Composants optiques d'injection

La sortie des sources de signaux doit être couplée à la fibre à l'essai ou à la fibre de référence, afin que la longueur du trajet physique relatif à chaque source reste constante pendant l'essai. (Cette prescription assure que les phases relatives des sources ne varient pas en raison d'une variation des longueurs des trajets.) Des dispositifs appropriés peuvent comporter des commutateurs optiques unimodaux à voies multiples ou des connecteurs optiques démontables.

Lorsque cette méthode d'essai est employée pour une fibre multimodale de la catégorie A1, les conditions d'injection doivent être conformes à la méthode A, réponse impulsionnelle, de cette norme.

5.2 Filtre de modes d'ordre supérieur (fibres unimodales)

Lorsque cette méthode de mesure est employée pour les fibres unimodales, utiliser une méthode destinée à empêcher la propagation des modes d'ordre supérieur dans la plage de longueurs d'onde concernée. Un exemple de filtre de modes d'ordre supérieur, consiste en une simple boucle ayant un rayon suffisamment petit pour déplacer la longueur d'onde de coupure en dessous de la valeur minimale de la longueur d'onde concernée.

5.3 Appareillage du positionnement de l'entrée

Prévoir un moyen permettant de coupler l'entrée de l'échantillon à l'essai avec la source lumineuse. Parmi les exemples, figure l'utilisation d'étages de réglage micrométrique x-y-z, ou de méthodes de couplage mécanique tels que des connecteurs, des épissures à succion, des épissures à trois tiges, etc. La position de la fibre doit rester stable pendant toute la durée de l'essai.

In this test method, the wavelength-dependent time delay between the test sample and the reference path is measured by Mach-Zehnder interferometer. The reference path can be an air path or a single-mode fibre with known spectral group delay.

It should be noted that extrapolation of the chromatic dispersion values derived from the interferometric test in the fibres of a few metres length, to long fibre sections assumes longitudinal homogeneity of the fibre. This assumption may not be applicable in every case.

4 Reference test methods

4.1 Category A1 multimode fibres

For category A1 multimode fibres, method B, spectral group delay in the time domain, is the reference test method (RTM), which shall be the one used to settle disputes.

4.2 Class B single-mode fibres

For all categories of class B single-mode fibres, method A, phase shift, is the reference test method (RTM). Method C, differential phase shift, may also be used to resolve disputes.

5 Apparatus

The following apparatus is common to all measurement methods. Annexes A, B, C and D include layout drawings and other equipment requirements that individually apply for each of the methods A, B, C and D.

5.1 Launch optics

The output from the signal sources shall be coupled to the fibre under test or the reference fibre such that the physical path length for each source is held constant during the measurement. (This requirement ensures that the relative phases of the sources do not change due to path length changes.) Suitable devices may include multichannel single-mode optical switches or demountable optical connectors.

When this method is used for category A1 multimode fibre, launch conditions shall comply with method A, impulse response, of this standard.

5.2 High-order mode filter (single-mode)

When using this measurement method for single-mode fibre, use a method to remove high-order propagating modes in the wavelength range concerned. An example of such a high-order mode filter is a single loop of radius sufficiently small to shift cut-off wavelength below the minimum wavelength of interest.

5.3 Input positioning apparatus

Provide means to couple the input of the specimen to the light source. Examples include the use of x-y-z micropositioner stages, or mechanical coupling methods such as connectors, vacuum splices, three-rod splices, etc. The position of the fibre shall remain stable over the duration of the test.

5.4 Appareillage du positionnement de la sortie

Prévoir un moyen permettant de positionner l'extrémité de sortie de l'échantillon à l'essai de sorte que la puissance optique guidée soit couplée au détecteur. Un tel dispositif de couplage peut inclure l'utilisation de lentilles, ou peut être constitué par une liaison mécanique à la fibre amorce d'un détecteur.

5.5 Equipement de calcul

Il est possible d'utiliser un ordinateur numérique pour le contrôle des équipements, l'acquisition des données et l'évaluation numérique des données.

6 Echantillonnage et échantillons à l'essai

6.1 Longueur de l'échantillon à l'essai

Les méthodes A, B et C prescrivent que l'échantillon à l'essai doit être une fibre ou un câble de longueur connue suffisamment long pour permettre une précision adéquate de la mesure de la phase. Une longueur minimale typique est de 1 km. La méthode D, interférométrie, prescrit une longueur typique d'échantillon à l'essai dans la plage de 1 m à 10 m.

6.2 Face d'extrémité de l'échantillon à l'essai

Préparer des faces d'extrémité planes, perpendiculaires à l'axe de la fibre, aux extrémités d'entrée et de sortie de chaque échantillon.

6.3 Fibre de référence

Une fibre du même type que l'échantillon à l'essai doit être utilisée pour compenser les retards chromatiques dans les sources optiques et dans les autres composants de l'équipement. La longueur de cette fibre doit être inférieure ou égale à 0,2 % de la longueur de l'éprouvette.

NOTE Il est recommandé que la température de l'échantillon à l'essai soit stable pendant toute la durée de la mesure, dans des limites de tolérance comprises entre 0,1 °C et 1 °C, selon l'évolution de cette stabilité dans le temps.

7 Procédure

Voir les annexes A, B, C et D pour les procédures des méthodes A, B, C et D respectivement.

Des mesures sur fibre de référence sont prescrites pour toutes les méthodes. Les données de la fibre de référence peuvent être stockées pour utilisation dans les mesures sur les échantillons à l'essai. Il convient de répéter la procédure de mesure sur la fibre de référence lors des modifications sur l'optique ou l'électronique d'émission ou de réception.

8 Calculs

Le calcul du temps de propagation relatif approprié à chaque méthode est respectivement donné aux annexes A, B, C et D.

La suite cet article décrit l'ajustement numérique susceptible d'être appliqué pour toutes les méthodes aux données du temps de propagation de groupe spectral normalisé par la longueur, $\tau(\lambda)$.

5.4 Output positioning apparatus

Provide means of positioning the output end of the specimen such that the guided optical power is coupled to the system detector. Such coupling may include the use of lenses, or may be a mechanical connection to a detector pigtail.

5.5 Computation equipment

A digital computer may be used for purposes of equipment control, data acquisition, and numerical evaluation of the data.

6 Sampling and specimens

6.1 Specimen length

Methods A, B and C require the specimen to be a fibre or cable of known length sufficiently long to produce adequate phase measurement accuracy. A typical minimum length is 1 km. Method D, interferometry, requires a typical specimen length in the range of 1 m to 10 m.

6.2 Specimen end face

Prepare a flat end face, orthogonal to the fibre axis, at the input and output ends of each specimen.

6.3 Reference fibre

A fibre of the same type as the specimen shall be used to compensate for chromatic delays in the optical sources and other equipment components. The length of this fibre shall be less than or equal to 0,2 % of the specimen length.

NOTE The temperature of the specimen should be stable during the measurement time, i.e. within 0,1 °C to 1 °C, depending upon the temporal behaviour of this change.

7 Procedure

See annexes A, B, C and D for the procedures for methods A, B, C and D, respectively.

Reference fibre measurements are required for all methods. Reference fibre data can be stored for use in making measurements on the specimens. The reference fibre measurement procedure should be repeated when equipment changes on the source or receive optics or electronics occur.

8 Calculations

The calculation of relative delay appropriate for each method is given in annexes A, B, C and D, respectively.

The remainder of this clause describes the numerical fit that can be applied for all methods to the spectral group delay data normalized by length, $\tau(\lambda)$.

Pour les calculs, la liste des symboles suivants est utilisée:

- λ est la longueur d'onde (nm);
- $\tau(\lambda)$ est l'ajustement des données de temps de propagation de groupe spectral normalisé; (ps/km);
- $D(\lambda)$ est le coefficient de dispersion chromatique, soit $= d\tau/d\lambda$;
- λ_0 est la longueur d'onde de dispersion nulle (nm);
- $\tau(\lambda_0)$ est le temps de propagation relatif minimal à la longueur d'onde de dispersion nulle, λ_0 ;
- S_0 est la pente de dispersion à la longueur d'onde de dispersion nulle (ps/nm² × km);
- $S(\lambda)$ est la pente de dispersion.

NOTE $\tau(\lambda)$ et $D(\lambda)$ peuvent être soit des mesures directes, soit le résultat de l'ajustement des mesures directes à une fonction spécifiée.

Lorsque, par exemple, une fonction d'ajustement des données est spécifiée, les paramètres de l'expression sur la partie de droite de l'équation sont déterminés de manière à minimiser la somme du carré des erreurs concernant les mesures directes. Une fois déterminée, cette expression est utilisée pour déterminer les valeurs des autres paramètres.

Les paramètres d'ajustement sont donnés avec les variables a , b , c , d , ou e .

8.1 Fibres multimodales de catégorie A1 et fibres unimodales de catégorie B1

Ce qui suit s'applique aux fibres multimodales de catégorie A1 et aux fibres unimodales de catégorie B1 autour de 1 310 nm.

L'ajustement des données du temps de propagation est le suivant:

$$\tau(\lambda) = a + b\lambda^2 + c\lambda^{-2} \quad (1)$$

La relation suivante est une forme équivalente:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{8} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^2}{\lambda} \right)^2 \quad (2)$$

La dispersion chromatique est $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$. Pour les équations (1) et (2), les dispersions chromatiques sont respectivement données par les relations:

$$D(\lambda) = 2(b\lambda - c\lambda^{-3}) \quad (3)$$

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \lambda \left(1 - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^4} \right) \quad (4)$$

La longueur d'onde de dispersion nulle est définie comme suit:

$$\lambda_0 = \left(\frac{c}{b} \right)^{1/4} \quad (5)$$

lorsque les données du temps de propagation sont exprimées conformément à l'équation (1).

The following is a list of symbols used and their explanations:

λ is the wavelength (nm);

$\tau(\lambda)$ is the normalized spectral group delay data fit (ps/km);

$D(\lambda)$ is the chromatic dispersion coefficient, which = $d\tau/d\lambda$;

λ_0 is the zero dispersion wavelength (nm);

$\tau(\lambda_0)$ is the relative delay minimum at the zero dispersion wavelength, λ_0 ;

S_0 is the dispersion slope at the zero dispersion wavelength (ps/nm² × km);

$S(\lambda)$ is the dispersion slope.

NOTE $\tau(\lambda)$ and $D(\lambda)$ may either be direct measurements or the result of fitting the direct measurements to a specified function.

Where, for example, a data fitting function is specified, the parameters of the expression on the right side of the equation are determined so as to minimize the sum of squared errors with regard to the direct measurements. Once determined, this expression is used to determine the values of other various parameters.

The fit parameters are given as the variables a , b , c , d , or e .

8.1 Category A1 multimode and B1 single-mode fibres

The following applies to category A1 multimode fibres, and to category B1 single-mode fibres around 1 310 nm.

The delay data fit is as follows:

$$\tau(\lambda) = a + b\lambda^2 + c\lambda^{-2} \quad (1)$$

An equivalent form is given as:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{8} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^2}{\lambda} \right)^2 \quad (2)$$

The chromatic dispersion is $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$. For equations (1) and (2), these are, respectively:

$$D(\lambda) = 2(b\lambda - c\lambda^{-3}) \quad (3)$$

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \lambda \left(1 - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^4} \right) \quad (4)$$

The zero dispersion wavelength is defined as

$$\lambda_0 = \left(\frac{c}{b} \right)^{1/4} \quad (5)$$

when the delay data are expressed according to equation (1).

A la longueur de dispersion nulle, la pente de dispersion est définie par la relation suivante:

$$S_0 = S(\lambda_0) = 8b \quad (6)$$

lorsqu'on utilise la représentation de la dispersion de l'équation (3).

8.2 Fibres de catégorie B2

Ce qui suit s'applique aux fibres unimodales de catégorie B2.

Ajuster le temps de propagation de groupe mesuré par unité de longueur de fibre en fonction de la longueur d'onde par l'expression quadratique suivante:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \left(\frac{S_0}{2} \right) (\lambda - \lambda_0)^2 \quad (7)$$

Le coefficient de dispersion chromatique peut être déterminé à partir de l'expression quadratique dérivée:

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0) S_0 \quad (8)$$

La valeur de la pente de dispersion est:

$$S(\lambda_0) = dD(\lambda_0)/d\lambda \text{ à } \lambda_0 \quad (9)$$

NOTE 1 Ces équations pour $\tau(\lambda)$ et $D(\lambda)$ sont suffisamment précises dans la plage allant de 1 500 nm à 1 600 nm. Elles ne sont pas destinées à être utilisées dans la zone de 1 300 nm.

NOTE 2 Une autre solution consiste à mesurer directement le coefficient de dispersion chromatique, par exemple par la méthode de déphasage différentiel. Dans ce cas, ajuster une ligne droite directement au coefficient de dispersion pour déterminer λ_0 et S_0 .

8.3 Fibres de catégorie B3

Ce qui suit s'applique aux fibres unimodales de catégorie B3.

L'ajustement à cinq termes des données du temps de propagation de groupe est le suivant:

$$\tau(\lambda) = a + b\lambda^2 + c\lambda^{-2} + d\lambda^4 + e\lambda^{-4} \quad (10)$$

NOTE 1 Les recherches ont démontré que dans la pratique, le coefficient d'ajustement sera faible dans la plage de longueur d'onde de 1 200 nm à 1 600 nm. Par conséquent, il est également possible d'utiliser un ajustement simplifié à quatre termes:

$$\tau(\lambda) = a + b\lambda^2 + c\lambda^{-2} + d\lambda^4 \quad (11)$$

La dispersion chromatique est obtenue par:

$$D(\lambda) = \frac{d\tau}{d\lambda} = 2b\lambda - 2c\lambda^{-3} + 4d\lambda^3 - 4e\lambda^{-5} \quad (12)$$

Pour l'ajustement simplifié à quatre termes:

$$D(\lambda) = 2b\lambda - 2c\lambda^{-3} + 4d\lambda^3 \quad (13)$$

NOTE 2 Ces équations sont suffisamment précises dans la plage allant de 1 200 nm à 1 600 nm.

At the zero dispersion wavelength the dispersion slope is defined as

$$S_0 = S(\lambda_0) = 8b \quad (6)$$

when using the dispersion representation of equation (3).

8.2 Category B2 fibres

The following applies to category B2 single-mode fibres.

Fit the measured group delay per unit fibre length versus wavelength by the quadratic expression:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \left(\frac{S_0}{2} \right) (\lambda - \lambda_0)^2 \quad (7)$$

The chromatic dispersion coefficient can be determined from the differentiated quadratic expression:

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0) S_0 \quad (8)$$

The value of the dispersion slope is:

$$S(\lambda_0) = dD(\lambda_0)/d\lambda \text{ at } \lambda_0 \quad (9)$$

NOTE 1 These equations for $\tau(\lambda)$ and $D(\lambda)$ are sufficiently accurate over the 1 500 nm to 1 600 nm range. They are not meant to be used in the 1 300 nm region.

NOTE 2 Alternatively, the chromatic dispersion coefficient can be measured directly, for example by the differential phase-shift method. In this case, fit a straight line directly to the dispersion coefficient for determining λ_0 and S_0 .

8.3 Category B3 fibres

The following applies to category B3 single-mode fibres.

The five-term delay data fit is as follows:

$$\tau(\lambda) = a + b\lambda^2 + c\lambda^{-2} + d\lambda^4 + e\lambda^{-4} \quad (10)$$

NOTE 1 Investigations have shown that in practice the fit coefficient will be small over the wavelength range 1 200 nm to 1 600 nm. Therefore, a simplified four-term fit can also be used:

$$\tau(\lambda) = a + b\lambda^2 + c\lambda^{-2} + d\lambda^4 \quad (11)$$

Obtain the chromatic dispersion by:

$$D(\lambda) = \frac{d\tau}{d\lambda} = 2b\lambda - 2c\lambda^{-3} + 4d\lambda^3 - 4e\lambda^{-5} \quad (12)$$

For the simplified four-term fit

$$D(\lambda) = 2b\lambda - 2c\lambda^{-3} + 4d\lambda^3 \quad (13)$$

NOTE 2 These equations are sufficiently accurate over the 1 200 nm to 1 600 nm range.

8.4 Fibres de catégorie B4

Pour ce type de fibres, les coefficients de dispersion minimaux et maximaux dans une plage de longueur d'onde spécifiée sont prescrits. Des approches d'ajustement pour utilisation avec les méthodes A et B sont à l'étude. La méthode C peut être utilisée pour obtenir ces valeurs directement.

9 Résultats

9.1 Informations à fournir pour chaque mesure

Relever les informations suivantes pour chaque essai:

- date et titre de la mesure;
- équation(s) utilisée(s) pour calculer les résultats;
- identification de l'échantillon à l'essai;
- longueur de l'échantillon à l'essai utilisée comme longueur normalisée;
- résultats de mesure tels que prescrits par la spécification particulière.

NOTE Exemples d'informations susceptibles d'être prescrites par la spécification particulière:

- a) les valeurs du coefficient de dispersion mesurées à certaines longueurs d'onde spécifiées;
- b) le ou les maximums de dispersion dans une plage spécifiée de longueurs d'onde;
- c) la longueur d'onde de dispersion nulle et la pente de dispersion à cette longueur d'onde.

9.2 Informations à fournir sur demande

Les informations suivantes doivent être fournies sur demande:

- méthode utilisée: A, B, C ou D;
- description de la ou des sources optiques et des longueurs d'onde d'essai utilisées;
- fréquence de modulation (si applicable);
- description du détecteur de signaux, du dispositif électronique de détection des signaux et du dispositif de retard;
- description des méthodes de calculs utilisées;
- date du dernier étalonnage de l'équipement de mesure.

10 Informations à mentionner dans la spécification

La spécification particulière doit préciser les informations suivantes:

- type de fibre à mesurer;
- critères de refus ou d'acceptation;
- information à relever;
- toute divergence applicable par rapport à la procédure.

8.4 Category B4 fibres

For this fibre type, the minimum and maximum dispersion coefficients over a specified wavelength range are required. Fitting approaches for use with methods A and B are under consideration. Method C can be used to obtain these values directly.

9 Results

9.1 Information available with each measurement

Report the following information with each measurement:

- date and title of measurement;
- equation(s) used to calculate the results;
- identification of specimen;
- length of specimen used for length normalization;
- measurement results as required by the detail specification.

NOTE Examples of the information that the detail specification may require:

- a) dispersion coefficient values measured at certain specified wavelengths;
- b) dispersion maximum (or maxima) over a specified range of wavelengths;
- c) the zero dispersion wavelength and dispersion slope at this wavelength.

9.2 Information available upon request

The following information shall be available upon request:

- method used: A, B, C or D;
- description of optical source(s) and measurement wavelengths used;
- modulation frequency (if applicable);
- description of signal detector, signal detection electronics, and delay device;
- description of computational techniques used;
- date of latest calibration of measurement equipment.

10 Specification information

The detail specification shall specify the following information:

- type of fibre to be measured;
- failure or acceptance criteria;
- information to be reported;
- any deviations to the procedure that apply.

Annexe A (normative)

Prescriptions spécifiques à la méthode A – Déphasage

A.1 Appareillage

A.1.1 Source lumineuse

La source lumineuse doit être stable en position, intensité et longueur d'onde sur une période de temps suffisante pour effectuer la procédure de mesure. Des diodes laser multiples (voir par exemple la figure A.1), des diodes laser réglables en longueur d'onde, des diodes électroluminescentes (voir par exemple la figure A.3) ou des sources à large bande (par exemple un laser Nd:YAG avec une fibre Raman) peuvent être utilisées, en fonction de la gamme de longueurs d'onde de mesure.

Les longueurs d'onde injectées dans la fibre à l'essai peuvent être sélectionnées à l'aide d'un commutateur optique, d'un monochromateur, de dispositifs dispersifs, de filtres optiques, de coupleurs optiques ou en accordant le laser, selon le type de source lumineuse et d'appareillage de mesure. Le sélecteur de longueur d'onde peut être utilisé à l'entrée ou à la sortie de la fibre à l'essai.

Pour les fibres de catégorie B1 mesurées avec un système à trois longueurs d'onde dans lequel les longueurs d'onde de la source encadrent la longueur d'onde de dispersion nulle λ_0 (voir figure A.2), la tolérance ou l'instabilité, $\delta\lambda$, dans la longueur d'onde centrale conduira à des erreurs maximales de $3\delta\lambda$ lors de la mesure de λ_0 . Les erreurs maximales dans la pente de dispersion, S_0 , sont directement proportionnelles à $\delta\lambda/\Delta\lambda$ (où $\Delta\lambda$ est l'espacement des longueurs d'onde de la source) et seront approximativement égales à 0,012 ps/(nm² × km) pour $\delta\lambda/\Delta\lambda = 1$ nm/30 nm.

Des erreurs inférieures aux erreurs maximales mentionnées ci-dessus peuvent être obtenues en choisissant des sources dont la longueur d'onde moyenne est voisine de la valeur de λ_0 attendue de l'échantillon à l'essai et/ou en utilisant plus de trois longueurs d'onde.

A titre d'exemple, une diode laser à mode longitudinal unique, à température contrôlée, avec stabilisation de puissance de sortie (par exemple: rétroaction PIN) suffit. Un laser supplémentaire peut s'avérer nécessaire pour la liaison de référence des équipements d'essai sur site (voir A.1.5).

A.1.2 Largeur spectrale

La largeur spectrale de la source, telle que mesurée dans l'échantillon à l'essai, doit être inférieure ou égale à 10 nm en des points à 50 % de puissance (largeur d'impulsion à mi-hauteur (LMH)).

Annex A (normative)

Requirements specific to method A – Phase shift

A.1 Apparatus

A.1.1 Light source

The light source shall be stable in position, intensity, and wavelength over a time period sufficiently long to complete the measurement procedure. Multiple laser diodes (for an example, see figure A.1), wavelength-tunable laser diodes, light-emitting diodes (for example, see figure A.3), or broadband sources (for example, an Nd:YAG laser with a Raman fibre) may be used, depending on the wavelength range of the measurement.

The wavelength launched into the fibre under test may be selected using an optical switch, a monochromator, dispersive devices, optical filters, optical couplers, or by tuning the laser, depending on the type of light sources and measurement set-up. The wavelength selector may be used either at the input or at the output of the fibre under test.

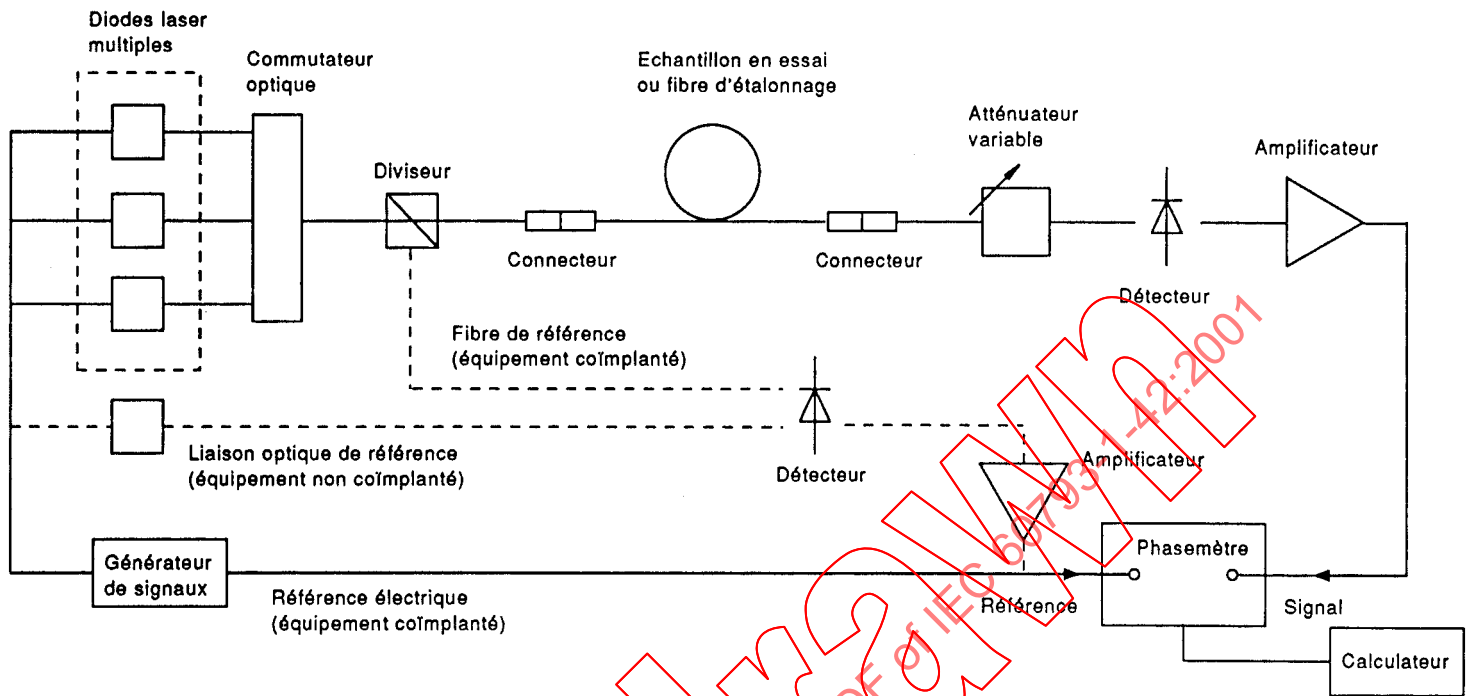
For category B1 fibres measured with a three-wavelength system in which the source wavelengths bracket the zero dispersion wavelength, λ_0 (see figure A.2), the tolerance or instability, $\delta\lambda$, in the centre wavelength will lead to maximum errors of $3\delta\lambda$ in measuring λ_0 . Maximum errors in dispersion slope, S_0 , are directly proportional to $\delta\lambda/\Delta\lambda$ (where $\Delta\lambda$ is the source wavelength spacing) and will be approximately 0,012 ps/(nm² × km) for $\delta\lambda/\Delta\lambda = 1 \text{ nm}/30 \text{ nm}$.

Errors smaller than the above maximum errors can be achieved by selecting optical sources with an average wavelength close to the expected λ_0 of the specimen and by using more than three wavelengths, or both.

Typically, a temperature controlled, single, longitudinal-mode laser diode with output power stabilization (e.g. PIN feedback) is sufficient. An additional laser may be required for the reference link for field measurement sets (see A.1.5).

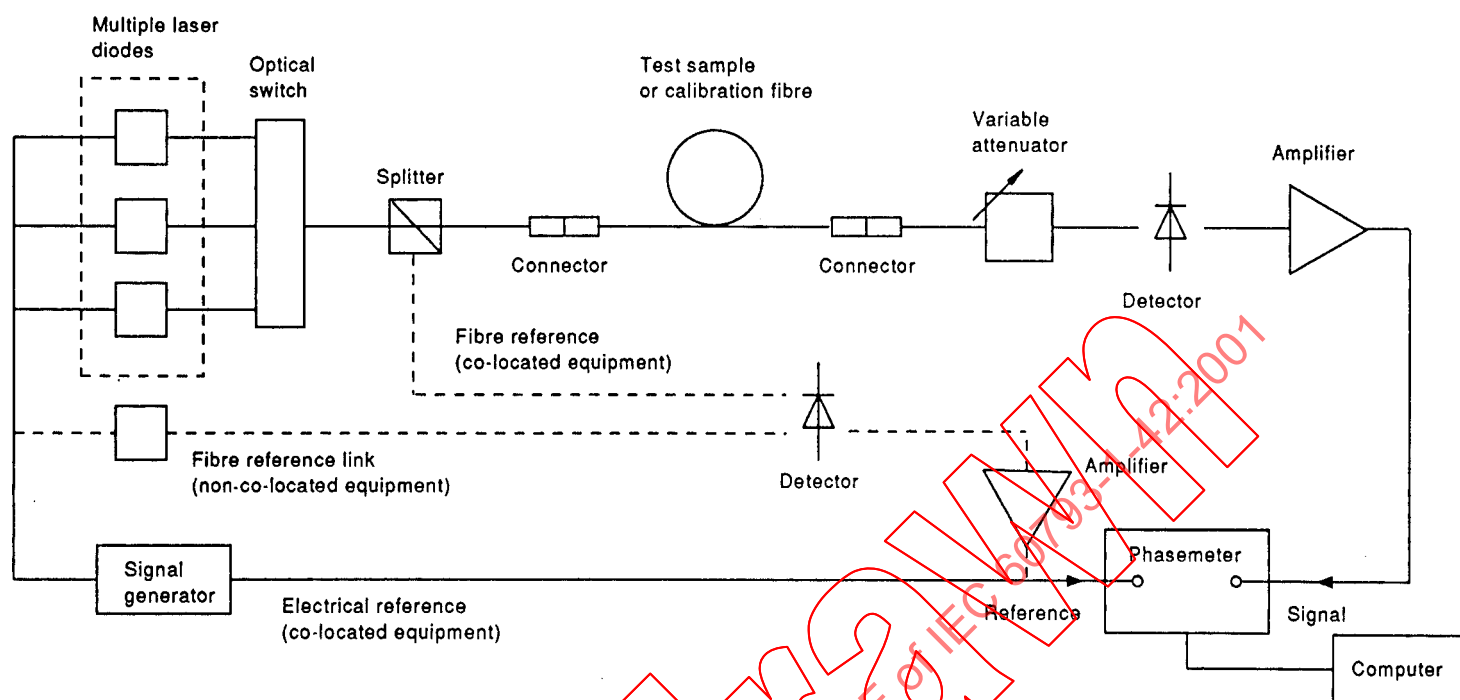
A.1.2 Spectral width

The spectral width of the source, as measured in the specimen, shall be less than or equal to 10 nm at 50 % power points (FWHM).



IEC 679/01

Figure A.1 – Montage d'essai de dispersion chromatique –
Système à diodes laser multiples (exemple type)



IEC 679/01

Figure A.1 – Chromatic dispersion measurement set – Multiple laser system (typical)

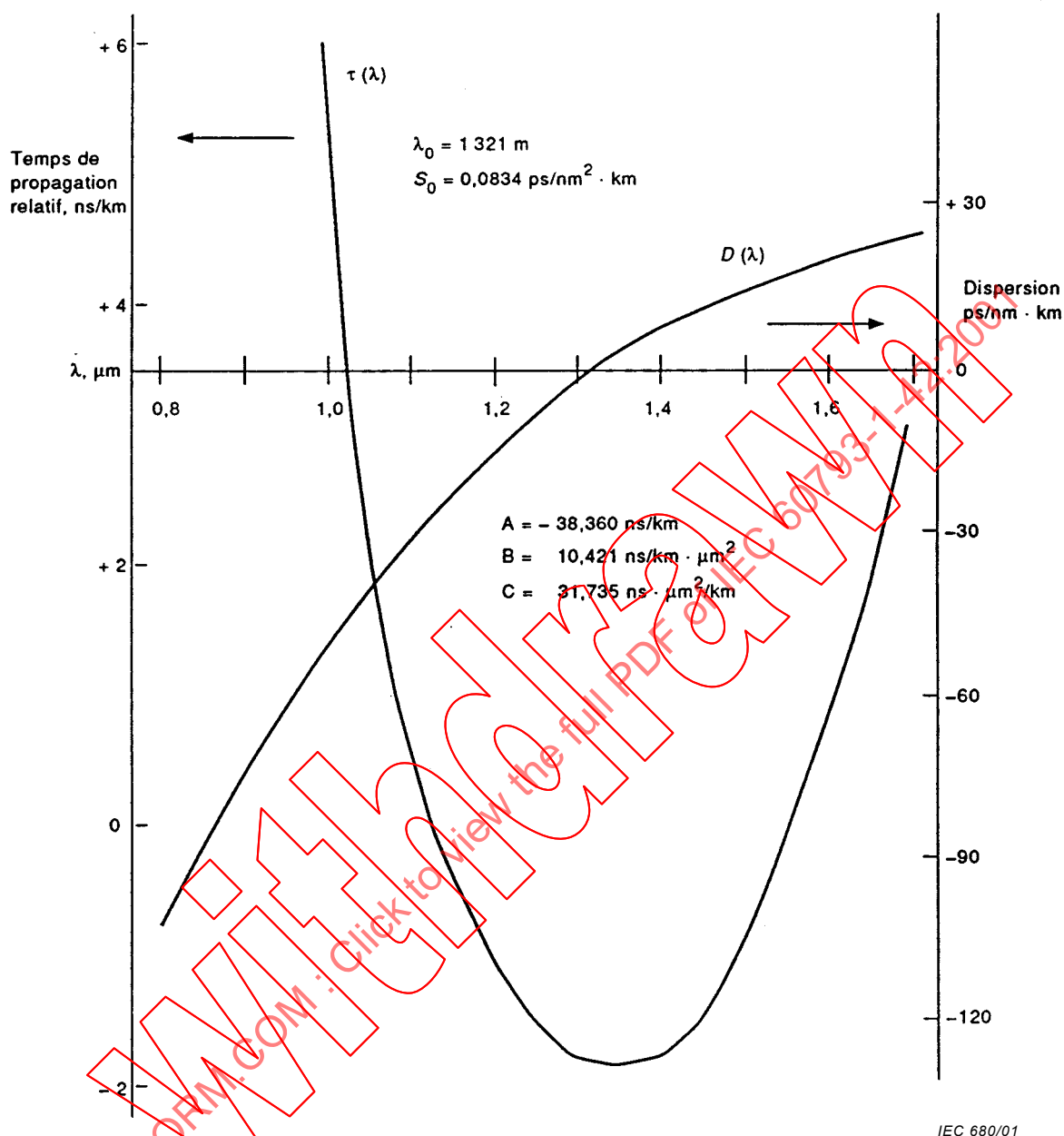


Figure A.2 – Courbes typiques des temps de propagation et des dispersions

A.1.3 Modulateur

Le modulateur doit moduler les sources de lumière en amplitude afin de générer une forme d'onde à composante de Fourier dominante unique. Par exemple, une modulation de signal sinusoïdal, trapézoïdal ou carré doit être acceptable. La stabilité de la fréquence doit être au moins égale à une partie de 10^8 .

Il est indispensable d'éviter les ambiguïtés de $360 (n)$ degrés, où n est un nombre entier, lors de la mesure du déphasage. Cela peut être effectué en utilisant des moyens tels que la synchronisation des variations de phase de 360° ou le choix d'une fréquence suffisamment basse pour limiter les déphasages relatifs à des valeurs inférieures à 360° . Déterminer la fréquence maximale, f_{max} , pour un décalage de 360° pour les fibres de catégorie B1, par la relation suivante:

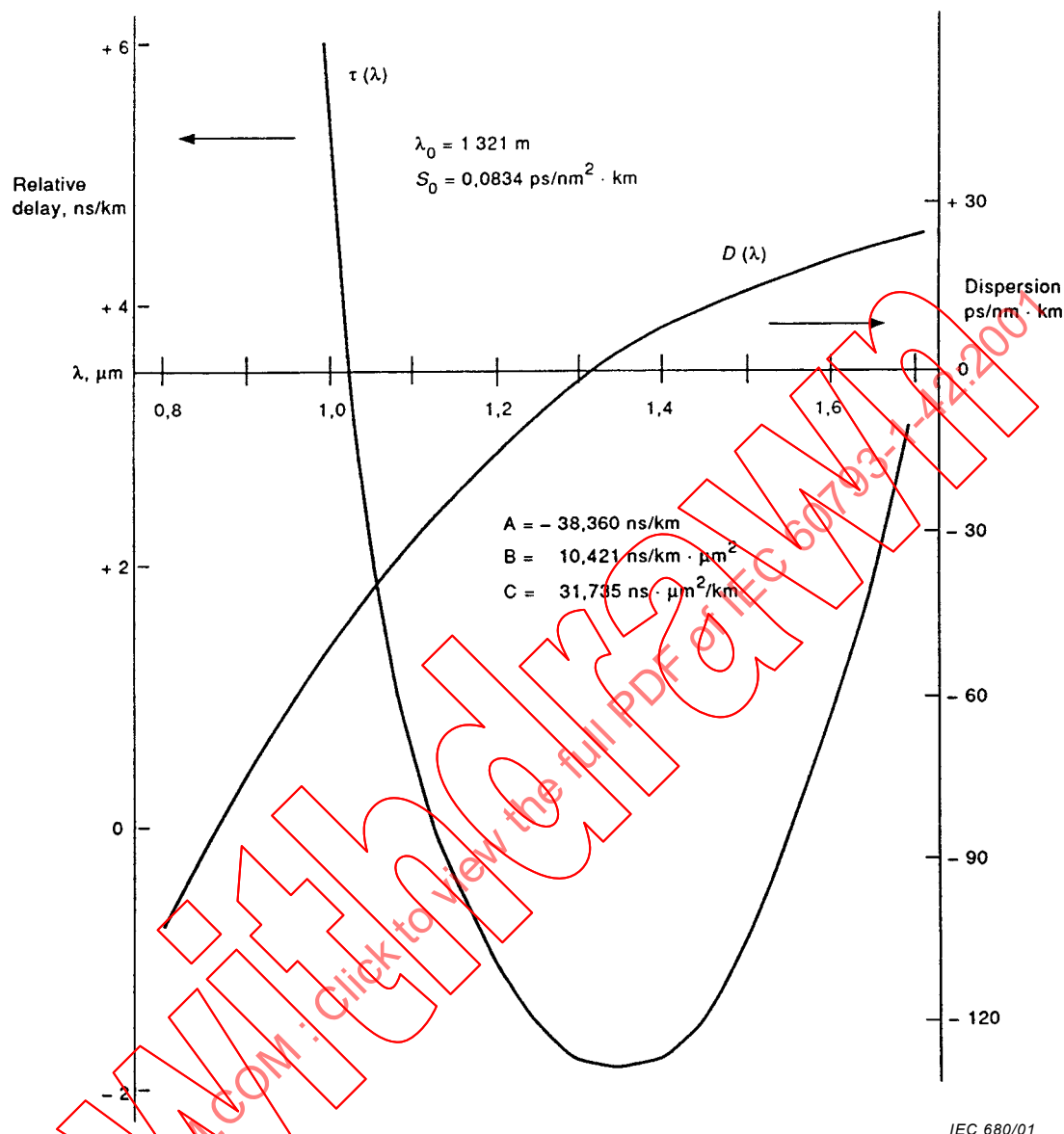


Figure A.2 – Typical delay and dispersion curves

A.1.3 Modulator

The modulator shall amplitude modulate the light sources to produce a waveform with a single, dominant Fourier component. For example, a sinusoidal, trapezoidal or square wave modulation shall be acceptable. The frequency stability shall be a minimum of one part in 10^8 .

It is essential to prevent ambiguities of $360(n)$ degrees, where n is an integer, in measuring phase shift. This can be accomplished by tracking 360° phase changes, or by choosing a modulator frequency sufficiently low to limit the relative phase shifts to less than 360° . Determine the maximum frequency, f_{max} , for a 360° shift for category B1 fibres as follows:

$$f_{\max} = \frac{8 \times 10^{-6}}{S_0 L} \left[\left(\lambda_i - \frac{\lambda_0^2}{\lambda_i} \right)^2 - \left(\lambda_j - \frac{\lambda_0^2}{\lambda_j} \right)^2 \right]^{-1} \quad (\text{A.1})$$

où

$f_{\max}$ est la fréquence maximale pour un déphasage à 360° pour les fibres de catégorie B1 (MHz);

L est la longueur maximale (km) attendue de l'échantillon à l'essai;

S_0 est la pente de dispersion typique attendue à λ_0 (ps/nm² × km);

λ_0 est la longueur d'onde de dispersion nulle attendue (nm);

λ_i et λ_j encadrent la paire de longueurs d'onde qui est utilisée dans la mesure et qui minimise la valeur de $f_{\max}$.

La fréquence du modulateur doit être suffisamment élevée pour assurer une précision de mesure adéquate.

L'exemple ci-après illustre l'influence des paramètres du système d'essai sur la précision: pour les fibres de catégorie B1 et pour un système à trois longueurs d'onde, dans lequel les longueurs d'onde de la source sont séparées de $\Delta\lambda$, les erreurs maximales seront égales à 0,0012 ps/nm²×km pour S_0 et égales à 0,4 nm pour λ_0 , si la fréquence minimale du modulateur, $f_{\min}$ (MHz) est donnée par la relation suivante:

$$f_{\min} = \frac{\Delta\phi \times 10^7}{L(\Delta\lambda)^2} \quad (\text{A.2})$$

où

$f_{\min}$ est la fréquence minimale du modulateur (MHz);

$\Delta\phi$ est l'instabilité des phases de l'ensemble de l'équipement d'essai en degrés (°);

L est la longueur minimale (km) attendue de l'échantillon à l'essai;

$\Delta\lambda$ est l'intervalle moyen des longueurs d'onde entre sources adjacentes (nm).

Donc, pour $\Delta\phi = 0,1$, $L = 10$ km et $\Delta\lambda = 32$ nm, une fréquence minimale d'environ 100 MHz est prescrite.

NOTE 1 L'équation (A.2) ci-dessus a été développée en la résolvant à plusieurs reprises pour λ_0 et S_0 dans l'équation du temps de propagation (2) de 8.1, avec diverses valeurs d'intervalle de longueurs d'onde et d'instabilité de phase.

NOTE 2 Des erreurs inférieures aux erreurs maximales mentionnées ci-dessus peuvent être obtenues en sélectionnant des sources dont la longueur d'onde moyenne est proche de la valeur de λ_0 attendue pour l'échantillon à l'essai et/ou en utilisant plus de trois longueurs d'onde.

Il est possible de régler la modulation de phase au niveau de chaque source lumineuse, afin de faciliter l'étalonnage du montage d'essai.

A.1.4 Détecteur de signaux et dispositif électronique de détection des signaux

Utiliser un détecteur optique, dont la sensibilité couvre toute la plage de longueurs d'onde à mesurer, conjointement à un phasemètre. Un amplificateur peut être utilisé pour augmenter la sensibilité du système détecteur. Un système type pourrait comporter une photodiode PIN, un amplificateur TEC et un voltmètre vectoriel.

$$f_{\max} = \frac{8 \times 10^{-6}}{S_0 L} \left[\left(\lambda_i - \frac{\lambda_0^2}{\lambda_i} \right)^2 - \left(\lambda_j - \frac{\lambda_0^2}{\lambda_j} \right)^2 \right]^{-1} \quad (\text{A.1})$$

where

$f_{\max}$ is the maximum frequency for a 360° shift for category B1 fibres (MHz);

L is the maximum expected specimen length (km);

S_0 is the expected typical dispersion slope at λ_0 (ps/nm² × km);

λ_0 is the expected typical zero dispersion wavelength (nm);

λ_i and λ_j comprise the wavelength pair, used in the measurement, that minimizes $f_{\max}$

The frequency of the modulator shall be sufficiently high to ensure adequate measurement precision.

The following is an example of the dependence of precision on test system parameters: for category B1 fibres and a three-wavelength system in which the source wavelengths span $\Delta\lambda$, maximum errors will be 0,0012 ps/nm² × km for S_0 , and 0,4 nm for λ_0 if the minimum modulator frequency, $f_{\min}$ (MHz), is

$$f_{\min} = \frac{\Delta\phi \times 10^7}{L(\Delta\lambda)^2} \quad (\text{A.2})$$

where

$f_{\min}$ is the minimum modulator frequency (MHz);

$\Delta\phi$ is the overall measurement equipment phase instability in degrees (°);

L is the minimum expected specimen length (km);

$\Delta\lambda$ is the average wavelength spacing between adjacent sources (nm).

Hence for $\Delta\phi = 0,1^\circ$, $L = 10$ km, and $\Delta\lambda = 32$ nm, a minimum frequency of approximately 100 MHz is required.

NOTE 1 Equation (A.2) above was developed by repeatedly solving for λ_0 and S_0 in the time delay equation (2) of 8.1 with various values of wavelength spacing and phase instability.

NOTE 2 Errors smaller than the above maximum errors can be achieved by selecting sources having an average wavelength close to the expected λ_0 of the specimen, and by using more than three wavelengths, or both.

The phase modulation at each light source may be adjustable to facilitate measurement-set calibration.

A.1.4 Signal detector and signal detection electronics

Use an optical detector that is sensitive over the range of wavelengths to be measured in conjunction with a phasemeter. An amplifier may be used to increase the detection system sensitivity. A typical system might include a PIN photodiode, a FET amplifier, and a vector voltmeter.

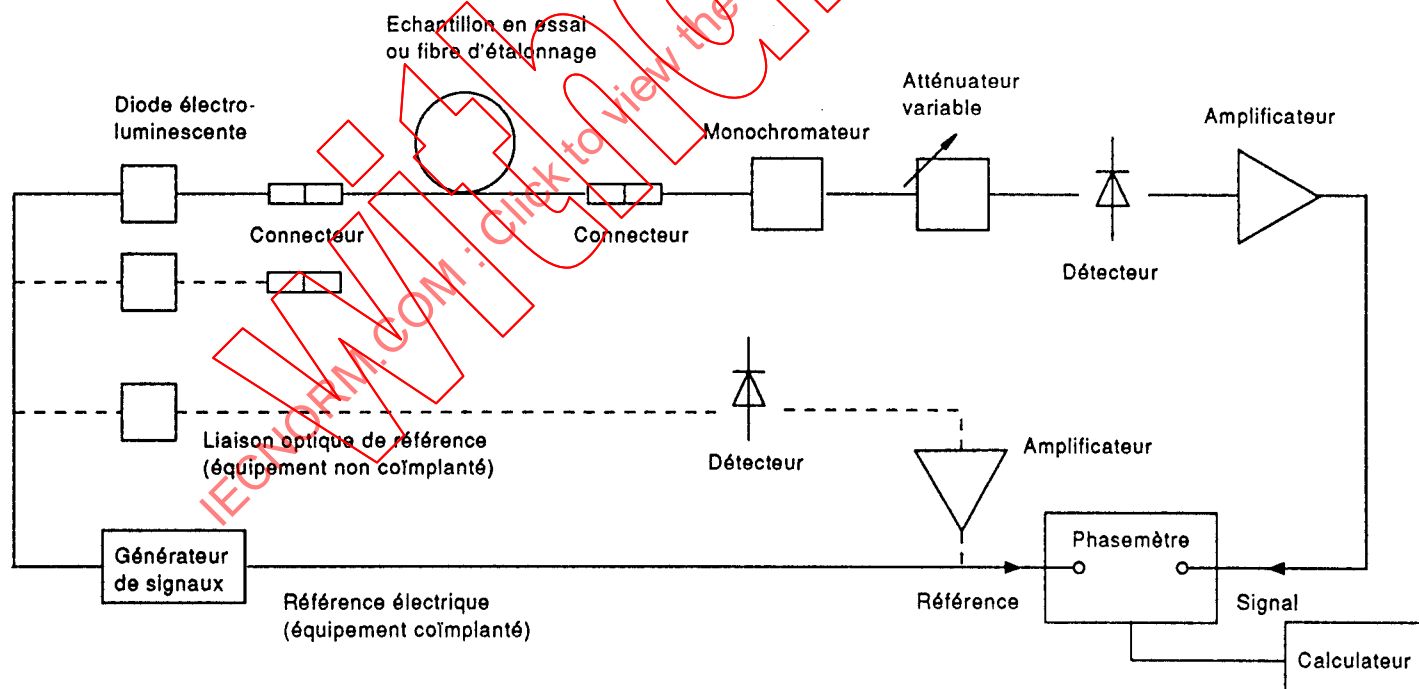
Le système constitué par le détecteur, l'amplificateur et le phasemètre doit uniquement répondre à la composante fondamentale de Fourier du signal de modulation et introduire un déphasage constant du signal sur toute la plage des puissances optiques reçues. La plage des puissances reçues peut être contrôlée par un atténuateur optique variable.

A.1.5 Signal de référence

Un signal de référence, dont la composante de Fourier dominante est identique à celle du signal de modulation, est fourni au phasemètre qui servira à mesurer les phases des sources de signaux. Il convient que la phase du signal de référence soit verrouillée par rapport à la phase du signal de modulation et qu'elle soit déduite à partir du signal de modulation.

Exemples de configurations de signaux de référence (pour les exemples a), b) et c), se reporter aux figures A.1 et A.3):

- Lorsque les sources de signaux et le détecteur sont voisins, comme c'est le cas lors d'un essai en laboratoire, ou lors d'un étalonnage, il est possible d'utiliser une connexion électrique entre le générateur de signaux et la borne de référence du phasemètre.
- Pour ce qui concerne les équipements voisins, il est également possible d'utiliser un dérivateur optique, installé avant l'échantillon à l'essai et un détecteur.
- Pour ce qui concerne les essais sur site, relatifs aux câbles optiques (sources et détecteur non voisins), il est possible d'utiliser une liaison optique, comprenant, de façon typique, une source lumineuse modulée, une fibre et un détecteur similaires à ceux utilisés pour l'échantillon à l'essai.
- Un signal de référence, relatif aux essais effectués sur site, peut être également transmis sur la fibre à l'essai en utilisant un multiplexage en longueur d'onde.



IEC 681/01

Figure A.3 – Montage d'essai de dispersion chromatique – Système à diodes électroluminescentes (exemple type)

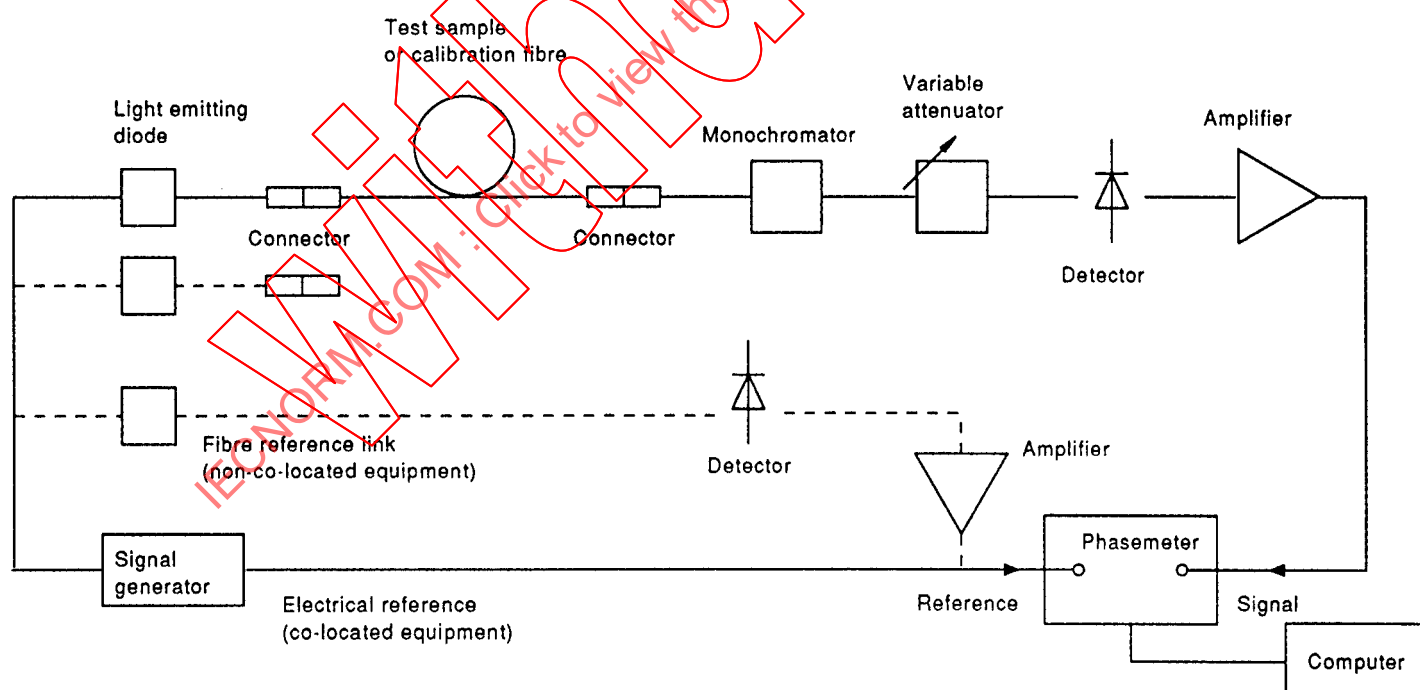
The detector-amplifier-phasemeter system shall respond only to the fundamental Fourier component of the modulating signal and shall introduce a signal phase shift that is constant over the range of received optical powers encountered. The received power range may be controlled by a variable optical attenuator.

A.1.5 Reference signal

Provide a reference signal with the same dominant Fourier component as the modulating signal to the phasemeter against which to measure the phases of the signal sources. The reference signal should be phase-locked to the modulating signal and is typically derived from the modulating signal.

Examples of reference signal configurations (see figures A.1 and A.3 for examples a), b) and c)) are as follows:

- Where the signal sources and detector are co-located, such as in a laboratory test or during calibration, an electrical connection can be used between the signal generator and the reference port of the phasemeter.
- An optical splitter, inserted before the specimen, and a detector may also be used for co-located equipment.
- For field testing of optical cables (sources and detector not co-located), an optical link can be used, typically comprising a modulated light source, fibre and detector similar to those used for the specimen.
- A reference signal for field testing can also be transmitted on the fibre under test using wavelength division multiplexing.



IEC 681/01

Figure A.3 – Chromatic dispersion measurement set – LED system (typical)

A.2 Procédure

A.2.1 Etalonnage

Insérer la fibre de référence (voir 6.3) dans l'appareillage de mesure; et générer un signal de référence (voir A.1.5). Mesurer et enregistrer la phase $\phi_{in}(\lambda_i)$ pour chaque source de signal.

En variante, si les phases des sources de signaux sont réglables, les phases de toutes les sources de signaux doivent alors être égalisées, la fibre de référence étant en place. Effectuer alors les mesures relatives à l'échantillon à l'essai comme décrit en A.2.2. Dans ce cas, $\phi_{in}(\lambda_i) = 0$ pour les calculs de A.3.

A.2.2 Mesures relatives à l'échantillon à l'essai

Insérer la fibre à l'essai dans l'appareillage de mesure; et générer un signal de référence (voir A.1.5). Mesurer et enregistrer la phase $\phi_{out}(\lambda_i)$ de chaque source de signal.

NOTE Effectuer toutes les mesures concernant l'échantillon à l'essai et l'étalonnage ou l'égalesation avec un niveau de puissance optique à l'entrée du détecteur ajusté à une plage de valeurs qui minimise les déphasages en fonction des niveaux dans le détecteur et dans le dispositif électronique de détection.

A.3 Calculs

A.3.1 Soustraire la phase d'entrée mesurée à chaque longueur d'onde de la phase de sortie à cette longueur d'onde. Le temps de propagation de groupe relatif est donné par la relation suivante:

$$\tau(\lambda_i) = [\phi_{out}(\lambda_i) - \phi_{in}(\lambda_i)] \frac{10^6}{360 \times f \times L} \quad \text{pour tous les } \lambda_i \quad (\text{A.3})$$

où

$\tau(\lambda_i)$ est le temps de propagation de groupe relatif (ps/km);

$\phi_{out}(\lambda_i)$ est la valeur mesurée en A.2.2 en degrés (°);

$\phi_{in}(\lambda_i)$ est la valeur mesurée en A.2.1 en degrés (°);

f est la fréquence de modulation de la longueur d'onde (MHz);

L est la longueur de l'échantillon à l'essai moins la longueur de l'échantillon en étalonnage (km).

A.3.2 A l'aide des données fournies en A.2.2, calculer le meilleur ajustement à l'une des équations du temps de propagation indiquées à l'article 8.

A.3.3 En utilisant les valeurs les mieux ajustées des coefficients appropriés indiqués à l'article 8, calculer la dispersion $D(\lambda)$ ou les autres paramètres, selon les prescriptions de la spécification particulière. Se reporter à la figure A.2 qui illustre un exemple de données ajustées du temps de propagation $\tau(\lambda)$ et de la dispersion calculée $D(\lambda)$.

A.3.4 Les longueurs d'onde de mesure doivent encadrer la longueur d'onde de dispersion nulle λ_0 , ou comporter au moins un point situé dans la limite de 100 nm de λ_0 , afin d'utiliser ces valeurs pour calculer λ_0 .

A.2 Procedure

A.2.1 Calibration

Insert the reference fibre (see 6.3) into the measurement apparatus, and establish a reference signal (A.1.5). Measure and record the phase, $\phi_{in}(\lambda_i)$, for each signal source.

Alternatively, if the signal sources are phase adjustable, then with the reference fibre in place, the phases of all signal sources shall be equalized. Then perform specimen measurements as described in A.2.2. In this case $\phi_{in}(\lambda_i) = 0$ for the calculations of A.3.

A.2.2 Specimen measurements

Insert the specimen into the measurement apparatus, and establish a reference signal (see A.1.5). Measure and record the phase, $\phi_{out}(\lambda_i)$, of each signal source.

NOTE Perform all specimen and calibration or equalization measurements with the input optical power level at the detector adjusted to a range that minimizes level-dependent phase shifts in the detector and detector electronics.

A.3 Calculations

A.3.1 Subtract the measured input phase at each wavelength from the output phase at that wavelength. The relative group delay is given as follows:

$$\tau(\lambda_i) = [\phi_{out}(\lambda_i) - \phi_{in}(\lambda_i)] \frac{10^6}{360 \times f \times L} \quad \text{for all } \lambda_i \quad (\text{A.3})$$

where

- $\tau(\lambda_i)$ is the relative group delay (ps/km);
- $\phi_{out}(\lambda_i)$ is the value measured in A.2.2 in degrees (°);
- $\phi_{in}(\lambda_i)$ is the value measured in A.2.1 in degrees (°);
- f is the frequency of the modulation waveform (MHz);
- L is the specimen length minus the calibration specimen length (km).

A.3.2 Using the delay data of A.2.2, calculate the best fit to one of the delay equations in clause 8.

A.3.3 Using these best-fit values of the appropriate coefficients from clause 8, calculate the dispersion, $D(\lambda)$, or other parameters as required by the detail specification. Refer to figure A.2 as an example of the delay data, $\tau(\lambda)$, and the calculated dispersion, $D(\lambda)$.

A.3.4 The measurement wavelengths shall bracket the zero dispersion wavelength, λ_0 , or contain at least one point within 100 nm of λ_0 , to use these data for calculating λ_0 .

Annexe B (normative)

Prescriptions spécifiques à la méthode B – Temps de propagation de groupe dans le domaine temporel

B.1 Appareillage

B.1.1 Source lumineuse

B.1.1.1 Laser à fibre Raman

Un système laser à fibre Raman, composé d'un laser YAG:Nd déclenché à verrouillage de phase synchrone, pompant une longueur adéquate (environ 200 m) de fibre unimodale, filtré spectralement par un dispositif tel qu'un monochromateur à diffraction, doit être capable de générer des impulsions optiques de courtes durées (<400 ps largeur d'impulsion à mi-hauteur LMH); en outre, il doit présenter une intensité et une stabilité spatiale et temporelle suffisantes pour effectuer les mesures décrites (voir figure B.1).

B.1.1.2 Diodes laser multiples

Des diodes laser à injection multiple (au moins trois), à plusieurs longueurs d'onde, doivent être considérées comme suffisantes pour effectuer ces mesures si leurs impulsions sont de courte durée (<400 ps LMH), stables en intensité et susceptibles d'être déclenchées, de façon stable, pendant toute la durée de la mesure (voir figure B.2).

B.1.1.3 Diodes laser réglables en longueur d'onde

Une ou plusieurs diodes laser réglables en longueur d'onde (par exemple un laser à cavité externe) doivent être considérées comme suffisantes pour effectuer ces mesures si leurs impulsions sont de courte durée (<400 ps LMH), stables en intensité et susceptibles de maintenir une longueur d'onde, de façon stable, pendant toute la durée de la mesure.

B.1.1.4 Largeur spectrale

La largeur spectrale de la source, telle que mesurée dans l'échantillon à l'essai, doit être inférieure ou égale à 10 nm en des points à 50 % de puissance (largeur d'impulsion à mi-hauteur (LMH)).

Annex B (normative)

Requirements specific to method B – Spectral group delay in the time domain

B.1 Apparatus

B.1.1 Light source

B.1.1.1 Fibre Raman laser

A fibre Raman laser system, consisting of a synchronously mode-locked and Q-switched Nd:YAG laser pumping an appropriate length (approximately 200 m) of single-mode fibre, spectrally filtered by a device such as a grating monochromator, shall be capable of producing optical pulses of short duration (<400 ps full-width at half maximum (FWHM)) and of sufficient intensity and spatial and temporal stability to perform the measurements described (see figure B.1).

B.1.1.2 Multiple laser diodes

Multiple (three or more) injection laser diodes at several wavelengths shall be considered sufficient for carrying out these measurements if they are of short duration (<400 ps FWHM), are stable in intensity, and can be stably triggered over the duration of the measurement (see figure B.2).

B.1.1.3 Wavelength-tunable laser diodes

One or more wavelength-tunable laser diodes (for example, an external-cavity laser) may be used if they produce pulses of short duration (<400 ps FWHM), are stable in intensity, and can maintain a stable wavelength and be stably triggered over the duration of the measurement.

B.1.1.4 Spectral width

The spectral width of the source, as measured in the specimen, shall be less than or equal to 10 nm at 50 % power points (FWHM).

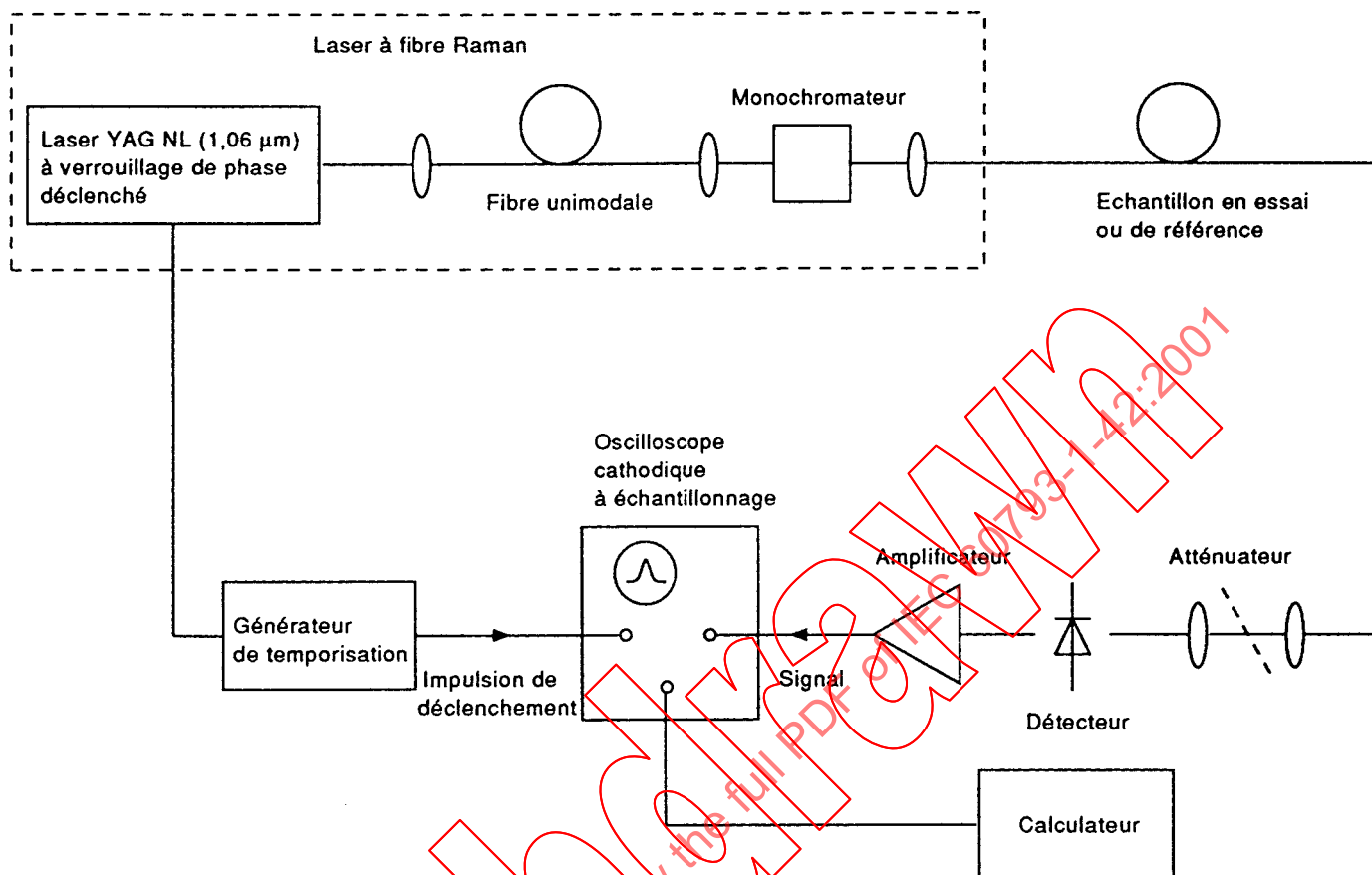


Figure B.1 – Schéma fonctionnel – Système laser à fibre Raman

IEC 682/01

B.1.2 Détecteur de signal

Utiliser un détecteur optique à grande vitesse, tel qu'une photodiode à avalanche au germanium, sensible dans toute la plage de longueurs d'onde utilisée. Ce détecteur optique doit être linéaire dans des limites de 10 %, dans toute la gamme d'intensités rencontrées. Noter que la principale contrainte concernant la linéarité réside dans le simple fait que la crête de l'impulsion n'est pas comprimée, pour que la position de la crête de l'impulsion ne varie pas dans le temps. Il est possible d'utiliser un amplificateur à large bande pour accroître la sensibilité du détecteur, à condition que la conformité aux spécifications relatives à la vitesse et à la linéarité soit toujours vérifiée. Il est possible d'utiliser un atténuateur optique pour maintenir l'amplitude du signal à une valeur constante.

B.1.3 Dispositif électronique de détection des signaux

Utiliser un dispositif de mesure et/ou d'affichage, comme un oscilloscope à échantillonnage à haute fréquence, capable d'afficher le temps relatif d'arrivée des impulsions optiques sur une échelle de temps étalonnée.

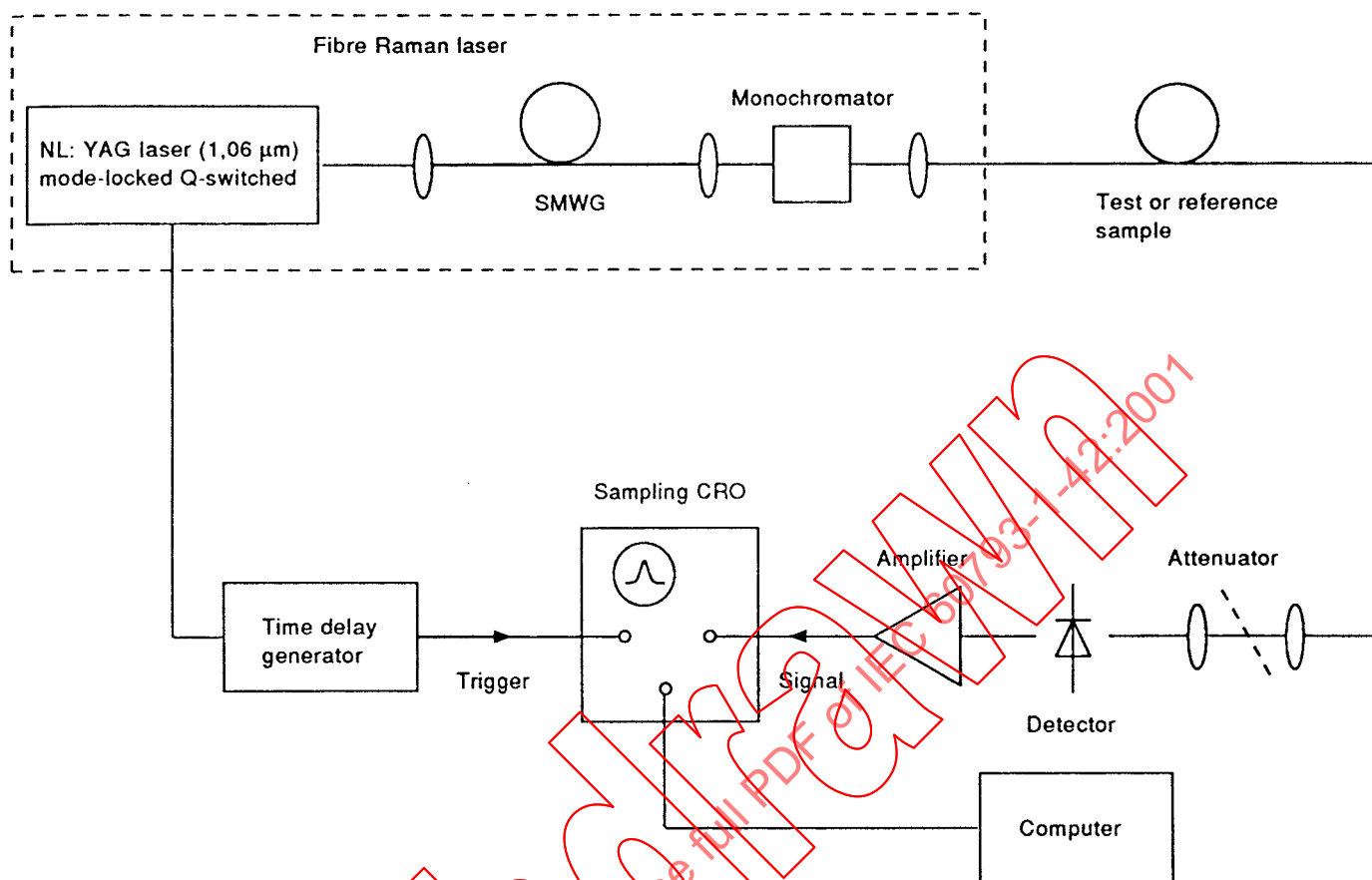


Figure B.1 – Block diagram – Fibre Raman laser system

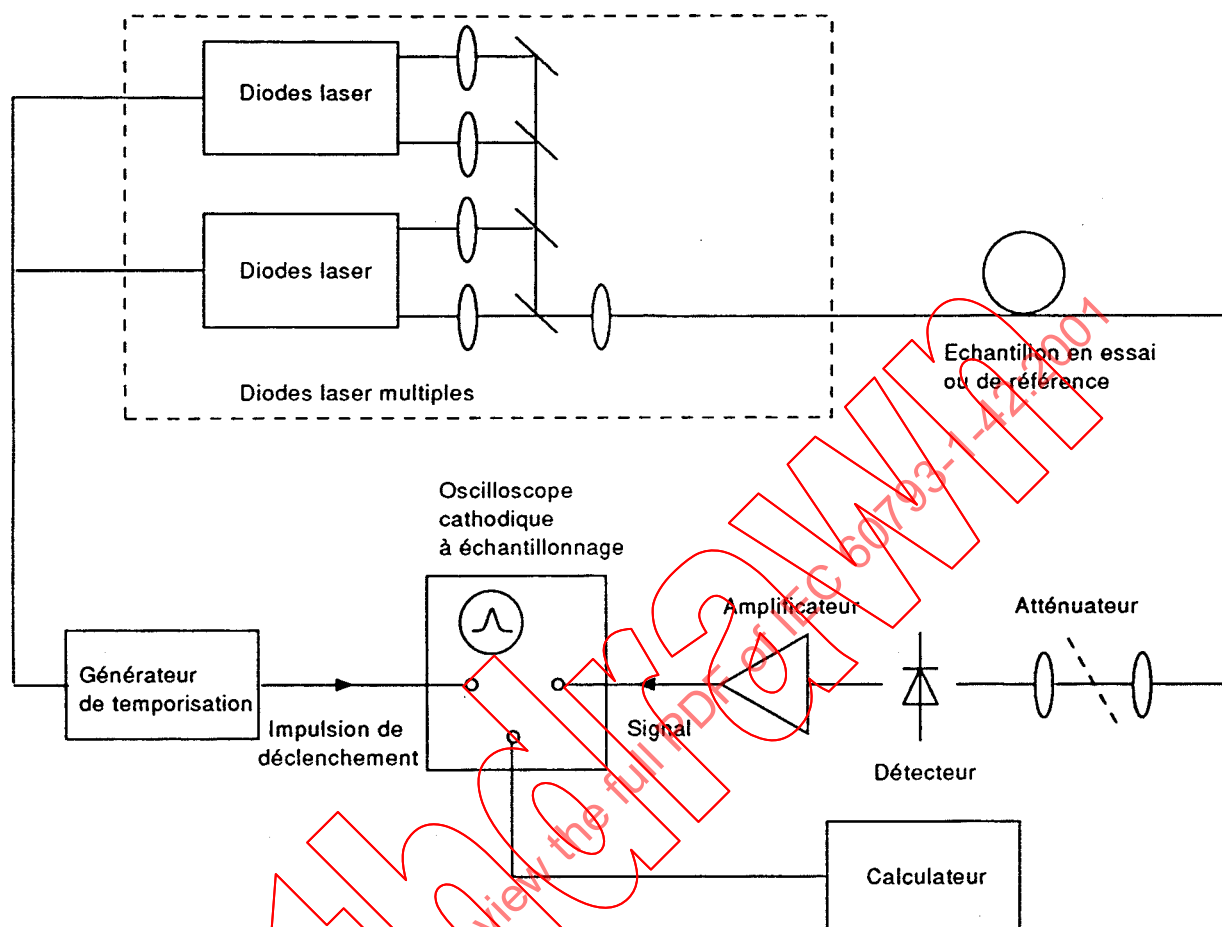
IEC 682/01

B.1.2 Signal detector

Use a high-speed optical detector, such as a germanium avalanche photodiode, that is sensitive over the range of wavelengths used. It shall be linear within 10 % over the range of intensities encountered. Note that the main constraint on linearity is simply that the pulse peak is not compressed in order that pulse peak temporal position remains unaffected. A wideband amplifier may be used to increase the detection system sensitivity, provided the speed and linearity specifications are still met. An optical attenuator may be used to maintain a constant signal amplitude.

B.1.3 Signal detection electronics

Use a measurement and/or display device, typically a high-frequency sampling oscilloscope, which is capable of displaying the relative arrival time of the optical pulses on a calibrated time scale.



IEC 683/01

Figure B.2 – Schéma fonctionnel – Système à diodes laser multiples

B.1.4 Dispositif de temporisation

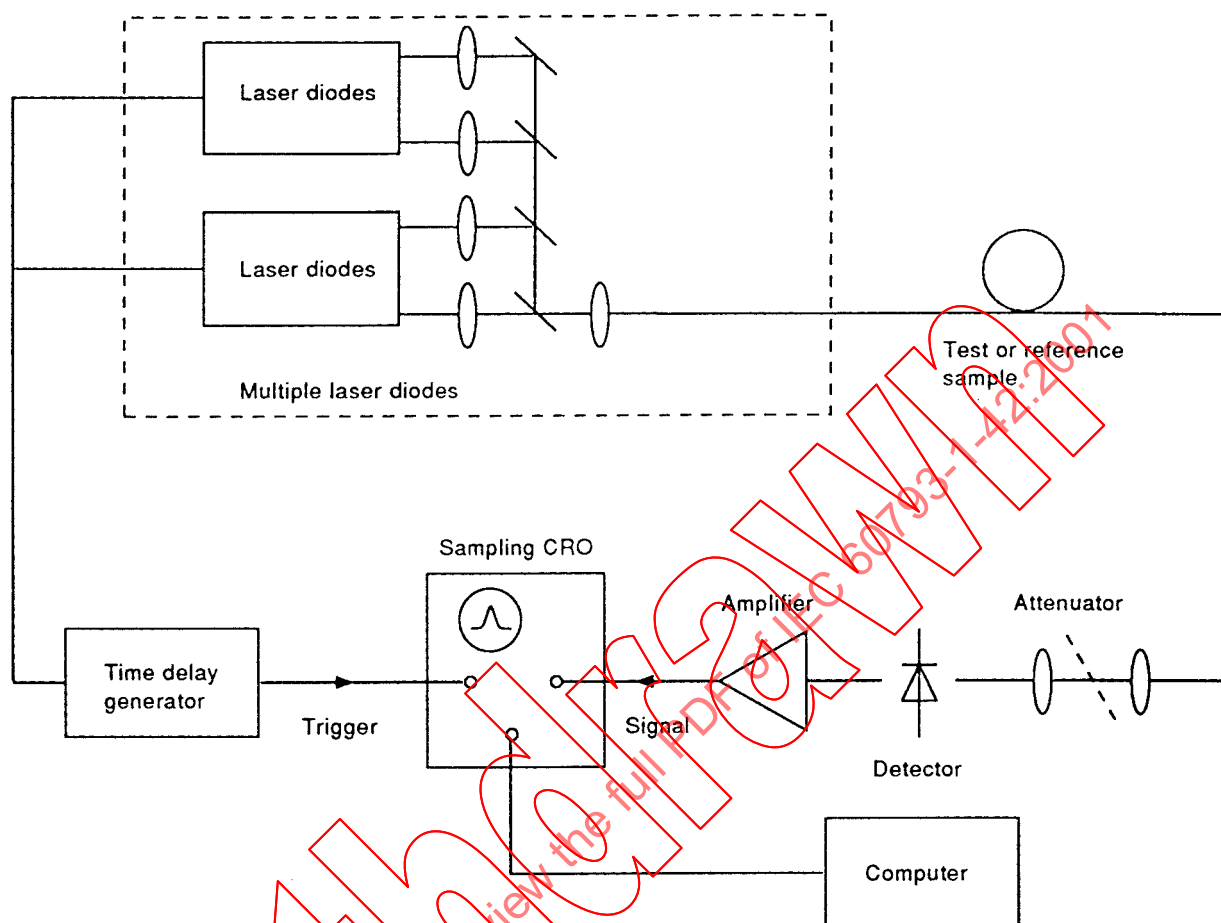
Prévoir un dispositif, tel qu'un générateur numérique de temporisation, qui déclenche la source lumineuse, ou qui est déclenché par la source, et qui est capable de transmettre un signal de déclenchement retardé aux dispositifs électroniques de détection (oscilloscope à échantillonnage), pour compenser les différences de temps de propagation entre les échantillons à l'essai et de référence. Le dispositif doit assurer la stabilité des temps de propagation pendant toute la durée de l'essai, avec un scintillement et une dérive inférieure à 50 ps efficaces.

B.2 Procédure

B.2.1 Mesures sur l'échantillonnage de référence

Insérer la fibre de référence dans l'appareillage de mesure et régler la longueur d'onde de la source lumineuse à la première longueur d'onde prévue pour l'essai. Régler le générateur de temporisation de manière à obtenir un affichage de l'impulsion d'entrée sur une échelle de temps étalonnée connue de l'oscilloscope.

La position de l'impulsion est donnée par sa crête ou par son centre de gravité. Enregistrer l'emplacement temporel de cette impulsion par rapport à une marque de référence (par exemple: le graticule d'affichage) du balayage calibré pour cette première longueur d'onde de référence.



IEC 683/01

Figure B.2 – Block diagram – Multiple laser diode system

B.1.4 Delay device

Provide a device such as a digital delay generator, which either triggers the light source, or is triggered by the source, and which is capable of providing a delayed trigger signal for the detection electronics (sampling oscilloscope) for purposes of compensating for the differences in propagation delay between the test and reference specimens. The device shall provide delay times that are stable over the duration of the measurement with less than 50 ps r.m.s. jitter and drift.

B.2 Procedure

B.2.1 Reference sampling measurements

Insert the reference fibre into the measurement apparatus, and adjust the wavelength of the light source to the first wavelength for the measurement. Adjust the delay generator to obtain a display of the input pulse on a known, calibrated time scale of the oscilloscope.

The pulse position is given by its peak or centroid. Record the temporal location of this pulse with respect to a fiducial mark (such as the display graticule) of the calibrated sweep for this first, reference wavelength.

Régler la source lumineuse à la longueur d'onde suivante et, sans faire varier le générateur de temporisation, enregistrer, $\tau_{in}(\lambda_i)$, différence temporelle entre les positions de cette impulsion et de celle de la longueur d'onde de référence. Répéter cette procédure à toutes les longueurs d'onde prescrites afin d'exprimer les résultats en termes de variation de la position de l'impulsion par rapport à la longueur d'onde de référence.

NOTE Par cette méthode, la précision du temps de propagation du dispositif de temporisation n'est pas importante. S'il n'est pas possible d'effectuer ces mesures par suite de différences de temps importantes entre les impulsions à différentes longueurs d'onde, il sera nécessaire d'utiliser un générateur de temporisation ou un instrument similaire dont la précision est connue, et d'enregistrer son temps de propagation et l'emplacement de l'impulsion sur l'oscilloscope à chaque longueur d'onde, afin d'obtenir le résultat voulu.

B.2.2 Mesures de l'échantillon à l'essai

Insérer l'échantillon à l'essai dans l'appareillage de mesure, sélectionner la première longueur d'onde, et régler le générateur de temporisation de manière à obtenir un affichage de l'impulsion de sortie sur une échelle de temps connue et étalonnée de l'oscilloscope.

Enregistrer l'emplacement temporel de la position de cette impulsion.

Régler la source lumineuse sur la longueur d'onde suivante, et enregistrer la différence temporelle $\tau_{out}(\lambda_i)$, entre la position de cette impulsion et celle de l'impulsion à la longueur d'onde de référence déterminée ci-dessus, sans réajuster le générateur de temporisation. Répéter cette procédure à toutes les longueurs d'onde prescrites, en exprimant les résultats en termes de décalage temporel de la position de l'impulsion de sortie par rapport à la position de l'impulsion à la longueur d'onde de référence. S'il n'est pas possible d'effectuer les mesures de cette manière, procéder conformément à la méthode décrite dans la note de B.2.1.

Soustraire le décalage temporel de l'impulsion d'entrée mesuré à chaque longueur d'onde, du décalage temporel de l'impulsion de sortie mesuré à la même longueur d'onde.

B.3 Calculs

B.3.1 Le temps de propagation de groupe $\tau(\lambda_i)$ par unité de longueur est le suivant:

$$\tau(\lambda) = \frac{[\tau_{out}(\lambda_i) - \tau_{in}(\lambda_i)]}{L} \quad (B.1)$$

où

$\tau(\lambda_i)$ est le temps de propagation du groupe par unité de longueur;

$\tau_{in}(\lambda_i)$ est la valeur mesurée en B.2.1;

$\tau_{out}(\lambda_i)$ est la valeur mesurée en B.2.2;

L est la longueur de la fibre à l'essai moins la longueur de la fibre de référence, en km.

B.3.2 A l'aide des données indiquées en B.3.1, calculer le meilleur ajustement à l'une des équations du temps de propagation indiquées à l'article 8.

B.3.3 En utilisant les valeurs les mieux adaptées des coefficients appropriés indiqués à l'article 8, calculer la dispersion $D(\lambda)$ ou d'autres paramètres, selon les prescriptions de la spécification particulière. Se reporter à la figure A.2 qui illustre un exemple de données ajustées du temps de propagation, $\tau(\lambda)$, et de la dispersion calculée $D(\lambda)$.

B.3.4 Les longueurs d'onde de mesure doivent encadrer la longueur d'onde de dispersion nulle λ_0 , ou comporter au moins un point situé jusqu'à 100 nm de λ_0 , afin d'utiliser ces valeurs pour le calcul de λ_0 .

Adjust the light source to the next wavelength and, without changing the delay generator, record $\tau_{in}(\lambda_i)$, the temporal difference between the positions of this pulse and that of the reference wavelength. Repeat this procedure at all required wavelengths to express the results in terms of pulse position change with respect to the reference wavelength.

NOTE With this method the delay accuracy of the delay device is not of importance. If it is not possible to perform these measurements as a result of large time differences of the pulses at different wavelengths, it will be necessary to utilize a delay generator or similar instrument of known accuracy, and to record both its delay time and the pulse location on the oscilloscope at each wavelength in order to obtain the desired result.

B.2.2 Specimen measurements

Insert the specimen into the measurement apparatus, select the first wavelength, and adjust the delay generator to obtain a display of the output pulse on a known, calibrated time scale of the oscilloscope.

Record the temporal location of this pulse position.

Adjust the light source to the next wavelength, and record the temporal difference, $\tau_{out}(\lambda_i)$, between this pulse position and that of the reference wavelength pulse position found above, without readjusting the delay generator. Repeat this procedure at all required wavelengths, expressing the results in terms of the output pulse position time shift with respect to the reference wavelength pulse position. If it is not possible to perform the measurements in this manner, proceed as described in the note of B.2.1.

Subtract the measured input pulse temporal shift at each wavelength from the output pulse shift at the same wavelength.

B.3 Calculations

B.3.1 The group delay, $\tau(\lambda_i)$, per unit length is as follows:

$$\tau(\lambda_i) = \frac{[\tau_{out}(\lambda_i) - \tau_{in}(\lambda_i)]}{L} \quad (B.1)$$

where

$\tau(\lambda_i)$ is the group delay per unit length;

$\tau_{in}(\lambda_i)$ is the value measured in B.2.1;

$\tau_{out}(\lambda_i)$ is the value measured in B.2.2;

L is the test fibre length minus the reference fibre length in km.

B.3.2 Using the data of B.3.1, calculate the best fit to one of the delay equations given in clause 8.

B.3.3 Using the best-fit values of the appropriate coefficients from clause 8, calculate the dispersion, $D(\lambda)$, or other parameters as required by the detail specification. Refer to figure A.2 as an example of the fitted delay data, $\tau(\lambda)$, and the calculated dispersion, $D(\lambda)$.

B.3.4 The measurement wavelengths shall span the zero dispersion wavelength, λ_0 , or contain at least one point within 100 nm of λ_0 to use these data for calculation of λ_0 .

Annexe C (normative)

Prescriptions spécifiques à la méthode C – Déphasage différentiel

C.1 Appareillage

C.1.1 Source lumineuse

C.1.1.1 Diodes laser multiples

Si des diodes laser sont utilisées, deux longueurs d'onde de rayonnement laser sont prescrites pour chaque mesure de la dispersion chromatique (voir figure C.1). La longueur d'onde centrale et la phase de sortie modulée de chaque source doivent être stables pendant toute la durée de la mesure pour le courant de polarisation, la fréquence de modulation et la température des diodes rencontrées.

Il est possible d'utiliser une diode laser à mode longitudinal unique ou multiple, à température contrôlée, avec stabilisation de puissance de sortie (par exemple: rétroaction d'un détecteur optique). Un laser supplémentaire peut être prescrit pour la liaison de référence des équipements d'essai sur site (voir C.1.4).

C.1.1.2 Diodes électroluminescentes filtrées

Utiliser une ou plusieurs diodes électroluminescentes (voir figure C.2). Leur spectre doit être filtré, par exemple, par un monochromateur, afin d'obtenir une raie spectrale de largeur à mi-hauteur comprise entre 1 nm et 5 nm.

C.1.2 Modulateur

Le modulateur doit moduler les sources de lumière en amplitude afin de générer une forme d'onde à composante de Fourier dominante unique. Par exemple, une modulation de signal sinusoïdal, trapézoïdal ou carré doit être acceptable. Une stabilité de fréquence de $0,01 \times 10^{-6}$ est suffisante.

Il est indispensable d'éviter les ambiguïtés de $360 (n)$ degrés (où n est un nombre entier), lors de la mesure du déphasage différentiel. Cela peut être réalisé en réduisant la fréquence du modulateur pour des longueurs d'échantillon plus importantes et/ou des grands coefficients de dispersions. Par exemple, il est possible de choisir une fréquence de modulation suffisamment basse pour limiter les déphasages différentiels à des valeurs inférieures à 360° à chaque paire de longueurs d'onde; la fréquence maximale peut être déterminée pour les fibres de catégorie B1 suivant:

$$f_{\max} = \frac{4 \times 10^{12} \lambda_i^3 (\lambda_i^4 - \lambda_0^4)^{-1}}{S_0 \times L \times \Delta \lambda} \quad (\text{C.1})$$

où

$f_{\max}$ est la fréquence maximale;

λ_i est la longueur d'onde de la source, en nm, qui minimise la valeur de $f_{\max}$;

λ_0 est la longueur d'onde de dispersion nulle typique attendue, en nm;

S_0 est la pente de dispersion typique attendue, exprimée, en ps/(nm² × km) à λ_0 ;

L est la longueur de l'échantillon à l'essai exprimée, en km;

Annex C (normative)

Requirements specific to method C – Differential phase shift

C.1 Apparatus

C.1.1 Light source

C.1.1.1 Multiple laser diodes

If using laser diodes, two laser wavelengths are required for each measurement of chromatic dispersion (see figure C.1). The centre wavelength and modulated output phase of each source shall be stable over the measurement time period at the bias current, modulation frequency and diode temperature encountered.

A temperature controlled, single longitudinal or multiple longitudinal mode laser diode with output power stabilization (e.g., feedback of optical detector) can be used. An additional laser may be required for the reference link for field measurement sets (see C.1.4).

C.1.1.2 Filtered light emitting diodes

Use one or more light-emitting diodes (see figure C.2). Their spectrum shall be filtered, typically by a monochromator, to give a spectral line of full width at half maximum in the range 1 nm to 5 nm.

C.1.2 Modulator

The modulator shall amplitude modulate the light sources to produce a waveform with a single dominant Fourier component. For example, a sinusoidal, trapezoidal or square wave modulation shall be acceptable. A frequency stability of $0,01 \times 10^{-6}$ is typically sufficient.

It is essential to prevent ambiguities of 360° (n) degrees where n is an integer, in measuring the differential phase shift. This can be accomplished by reducing the modulator frequency for larger specimen lengths, and large dispersion coefficients, or both. For example, the modulation frequency can be chosen sufficiently low to limit the differential phase shifts to less than 360° at each pair of wavelengths, and maximum frequency can be determined for category B1 fibres as follows:

$$f_{\max} = \frac{4 \times 10^{12} \lambda_i^3 (\lambda_i^4 - \lambda_0^4)^{-1}}{S_0 \times L \times \Delta \lambda} \quad (\text{C.1})$$

where

- $f_{\max}$ is the maximum frequency;
- λ_i is the source wavelength, in nm, that minimizes $f_{\max}$;
- λ_0 is the expected typical zero dispersion wavelength in nm;
- S_0 is the expected typical dispersion slope, in ps/(nm² × km) at λ_0 ;
- L is the specimen length, in km;

$\Delta\lambda$ est l'espacement des longueurs d'onde entre les points de mesure des phases différentielles, exprimé en nm.

La fréquence du modulateur doit être suffisamment élevée pour assurer une précision de mesure convenable.

L'espacement des longueurs d'onde, $\Delta\lambda$, entre les points de mesure des phases différentielles se trouve, typiquement, dans la plage comprise entre 2 nm et 20 nm.

C.1.3 Détecteur de signaux et dispositif électronique de détection de signaux

Utiliser un détecteur optique, dont la sensibilité couvre toute la plage de longueurs d'onde à mesurer, conjointement à un phasemètre. Il est possible d'utiliser un amplificateur pour accroître la sensibilité du système de détection. Un système typique pourrait comporter une photodiode PIN, un amplificateur TEC et un détecteur sensible aux phases.

Le système constitué par le détecteur, l'amplificateur et le phasemètre doit uniquement répondre à la composante fondamentale de Fourier du signal de modulation et doit introduire un déphasage constant du signal sur toute la plage des puissances optiques rencontrées.

L'unité de traitement des signaux enregistrera le signal différentiel à la sortie du phasemètre, généré par la paire de longueurs d'onde d'essai; en outre, l'unité de traitement des signaux transmettra un signal de sortie représentant la phase différentielle entre les deux longueurs d'onde au calculateur/système d'acquisition des données. La sélection de la longueur d'onde et la mesure de la phase relative, aux deux longueurs d'onde, doivent être suffisamment rapides pour que le résultat ne soit pas faussé par une dérive de la longueur de l'échantillon à l'essai. L'unité de traitement des signaux peut être réalisée de plusieurs manières, dont trois exemples représentatifs sont donnés ci-après.

Dans le premier exemple, illustré par les figures C.1 et C.2, l'unité de traitement des signaux enregistre une phase à une longueur d'onde d'essai donnée et enregistre ensuite une phase à une autre longueur d'onde. La dispersion chromatique à la longueur d'onde moyenne est déterminée à partir de la phase différentielle et de la longueur de la fibre. L'unité intitulée «Traitement des signaux» dans la figure C.2 peut inclure le calculateur. Le second exemple est illustré par la figure C.3. Le signal de référence du phasemètre est lui-même une des deux longueurs d'ondes d'essai qui parcourent la fibre.

$\Delta\lambda$ is the wavelength spacing between the differential phase measurement points, in nanometres in nm.

The frequency of the modulator shall be sufficiently high to ensure adequate measurement precision.

The wavelength spacing, $\Delta\lambda$, between the differential phase measurement points is typically in the range 2 nm to 20 nm.

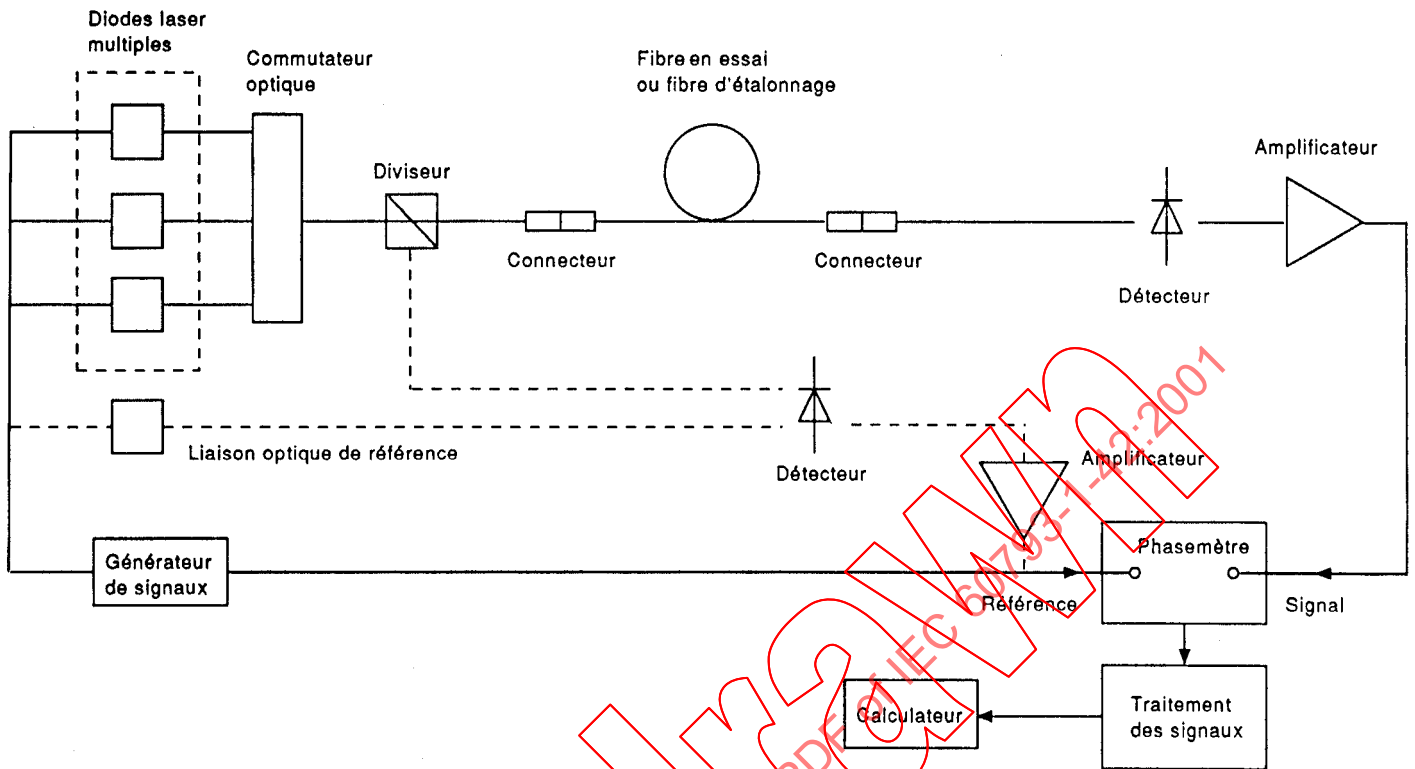
C.1.3 Signal detector and signal detection electronics

Use an optical detector that is sensitive over the range of wavelengths to be measured in conjunction with a phasemeter. An amplifier can be used to increase the detection system sensitivity. A typical system might include a PIN photodiode, FET amplifier, and a phase-sensitive detector.

The detector-amplifier-phasemeter system shall respond only to the fundamental Fourier component of the modulating signal and shall introduce a signal phase shift that is constant over the range of received optical powers encountered.

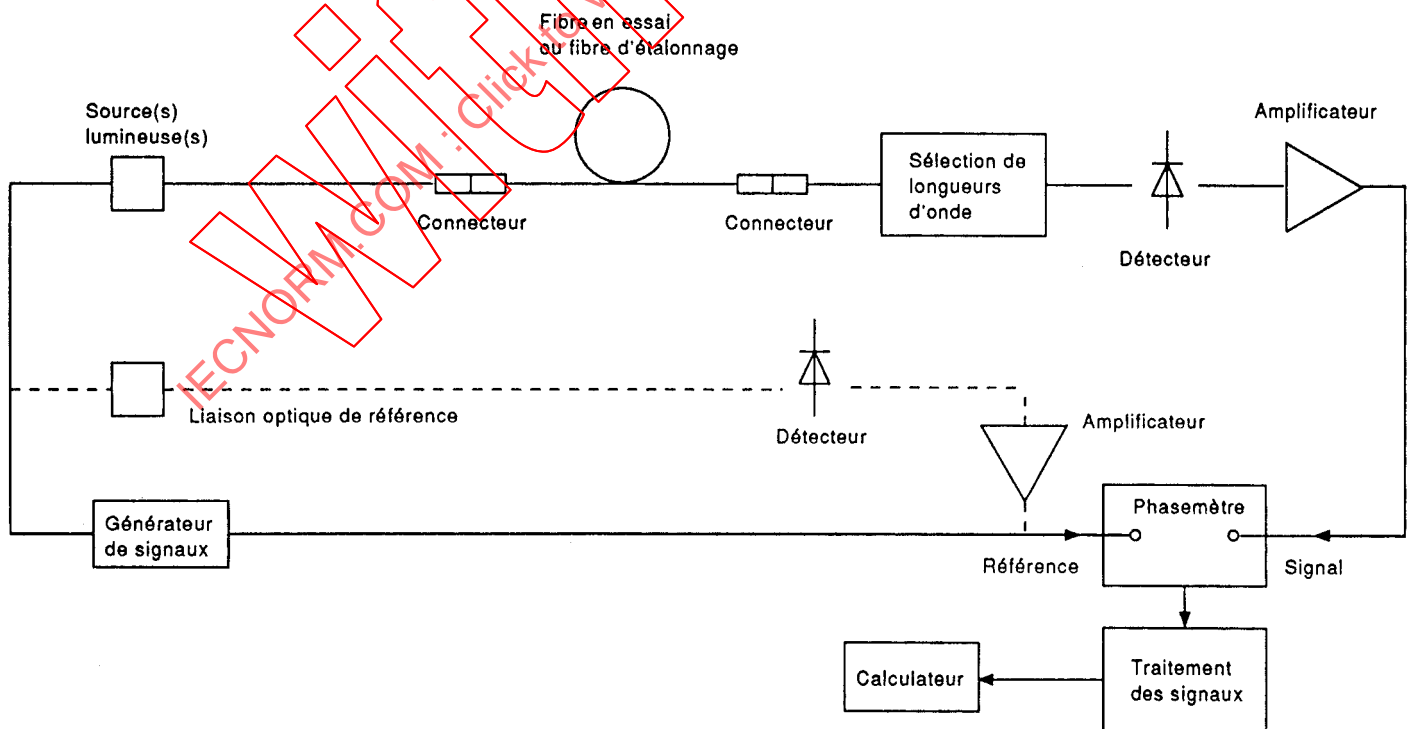
The signal processing unit will record the differential output from the phasemeter produced by the pair of test wavelengths, and provide an output representing the differential phase between the two wavelengths to the computer/data acquisition system. Selection of the wavelength and measurement of the relative phase at the two wavelengths shall be sufficiently rapid so that the result is not adversely affected by the specimen's length drift. The signal processing block may be implemented in several ways, three examples of which are given below.

In the first example depicted in figures C.1 and C.2, the signal-processing block records the phase at one test wavelength and then records the phase at the other wavelength. Chromatic dispersion at the mean wavelength is determined from the differential phase and fibre length. The block labelled "Signal processing" in figure C.2 may be encompassed by the computer. The second example is depicted in figure C.3. The reference signal for the phasemeter is itself one of the two test wavelengths that pass down the fibre.



IEC 684/01

Figure C.1 – Montage de mesure de dispersion chromatique – Système à laser multiple



IEC 685/01

Figure C.2 – Montage de mesure de dispersion chromatique – Système DEL

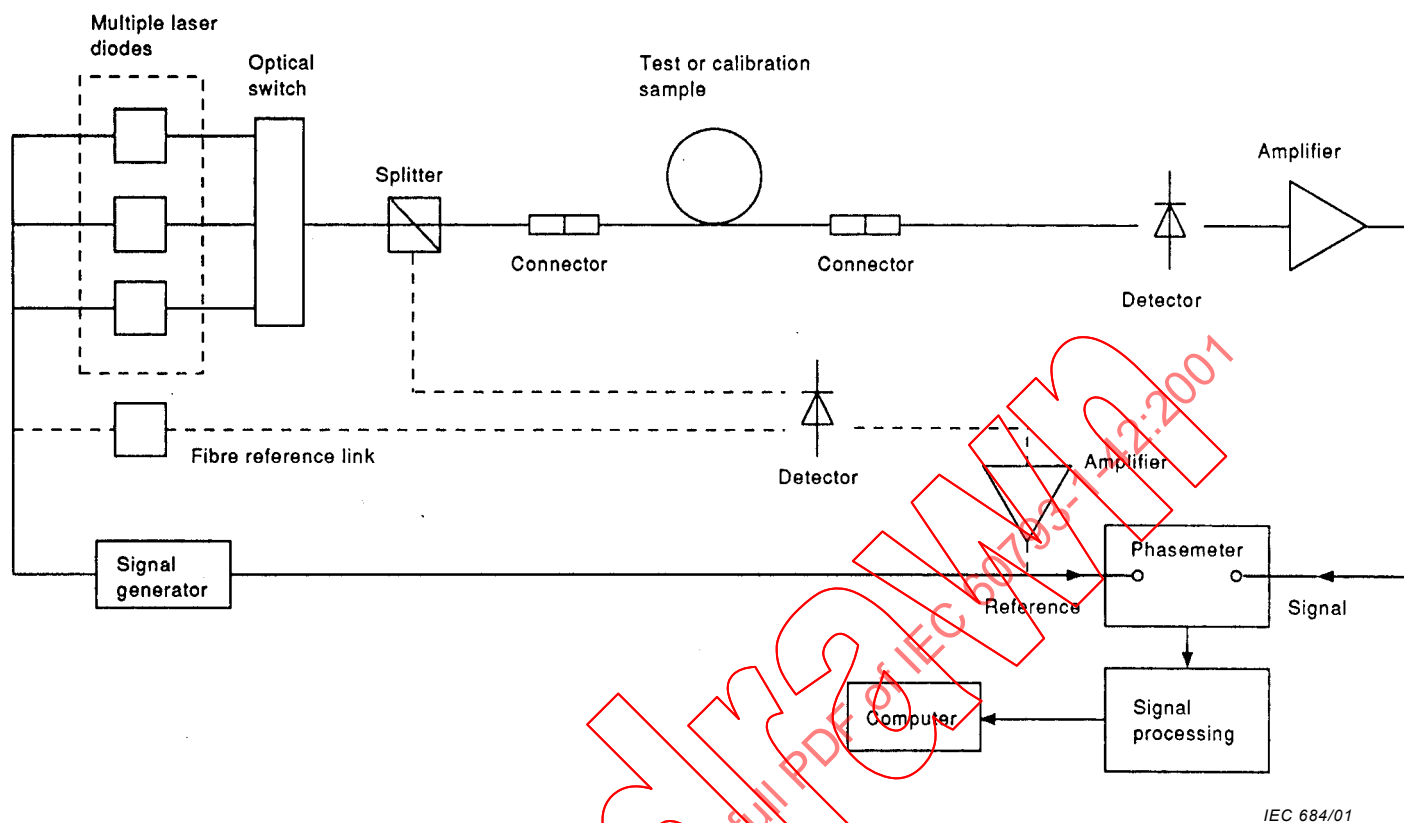


Figure C.1 – Chromatic dispersion measurement set – Multiple laser system

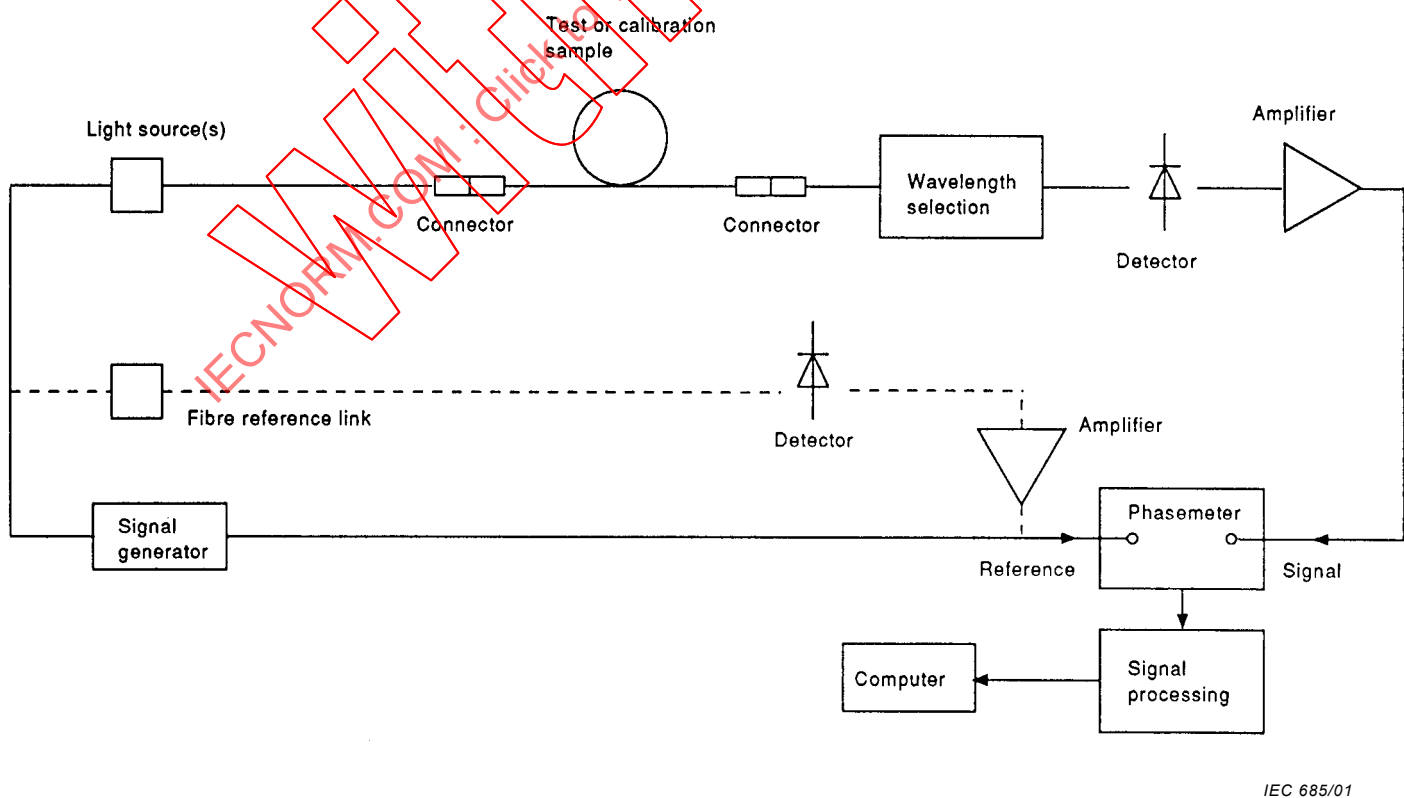
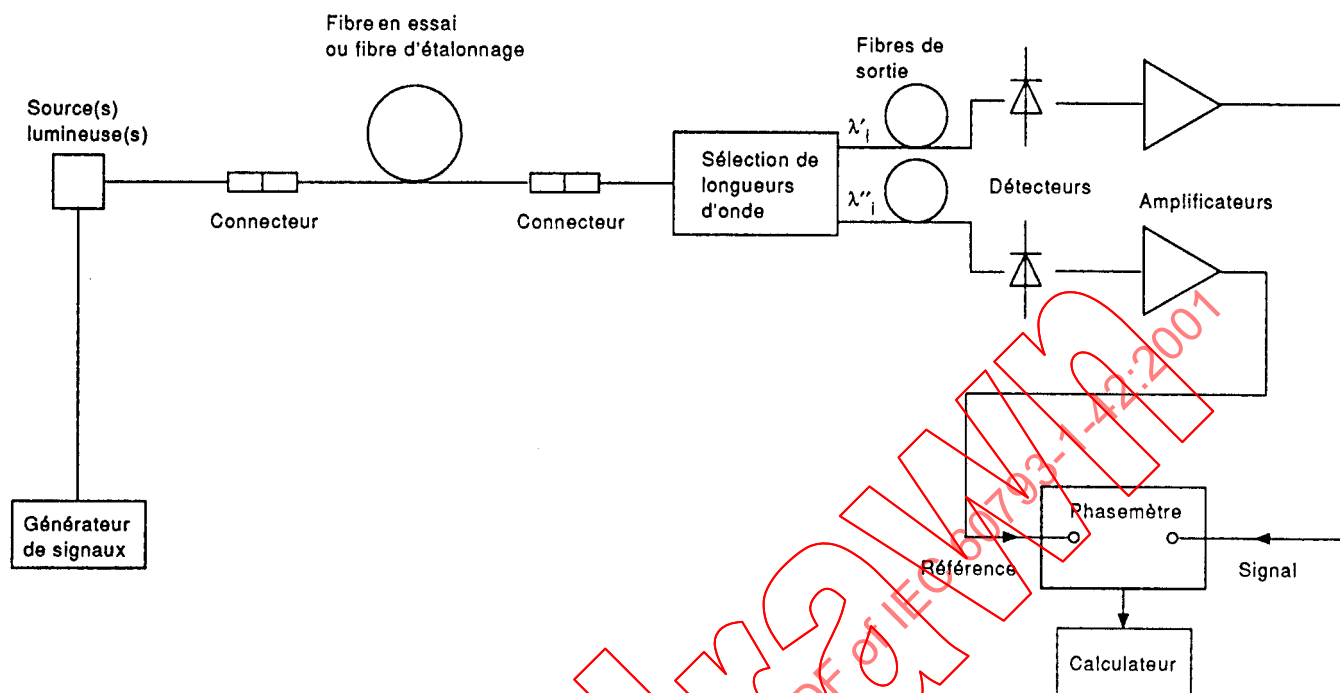
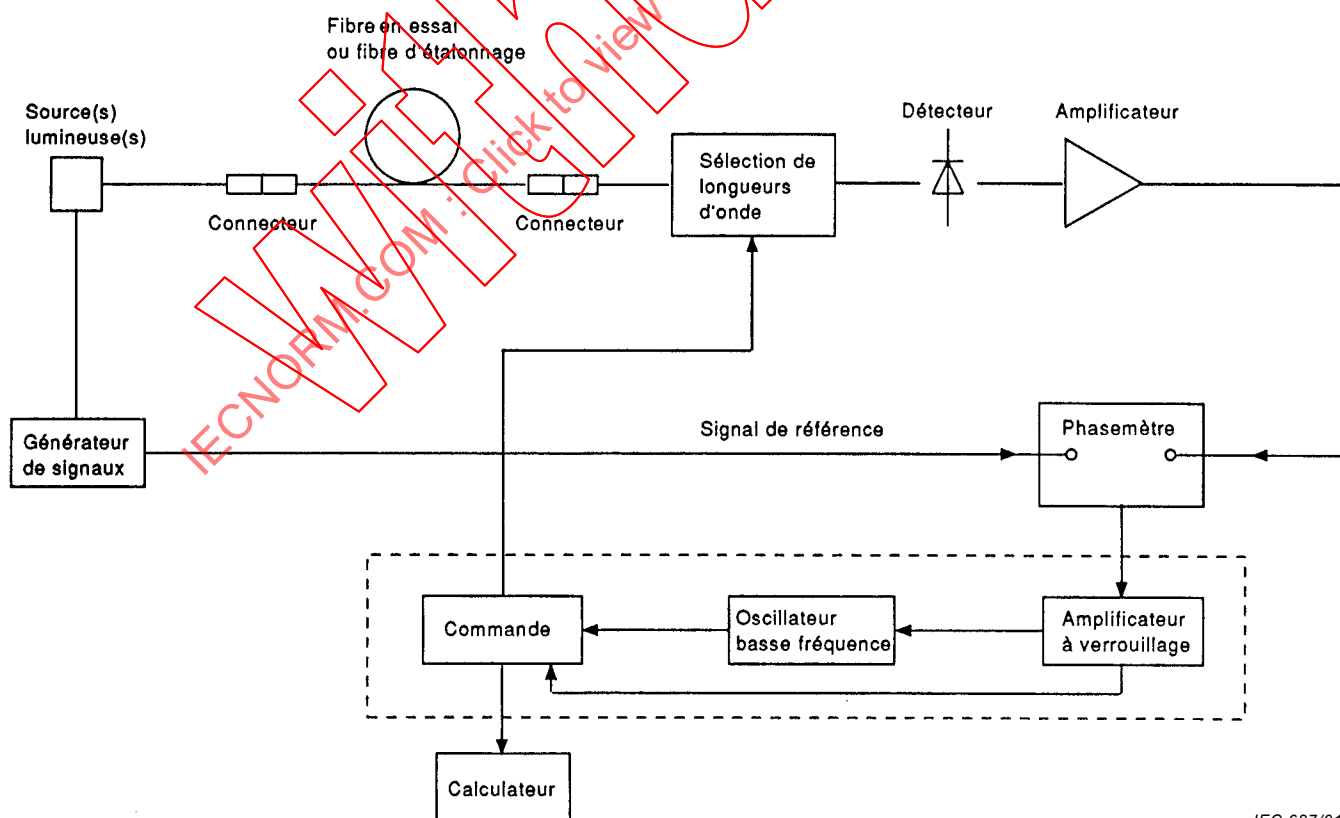


Figure C.2 – Chromatic dispersion measurement set – LED system



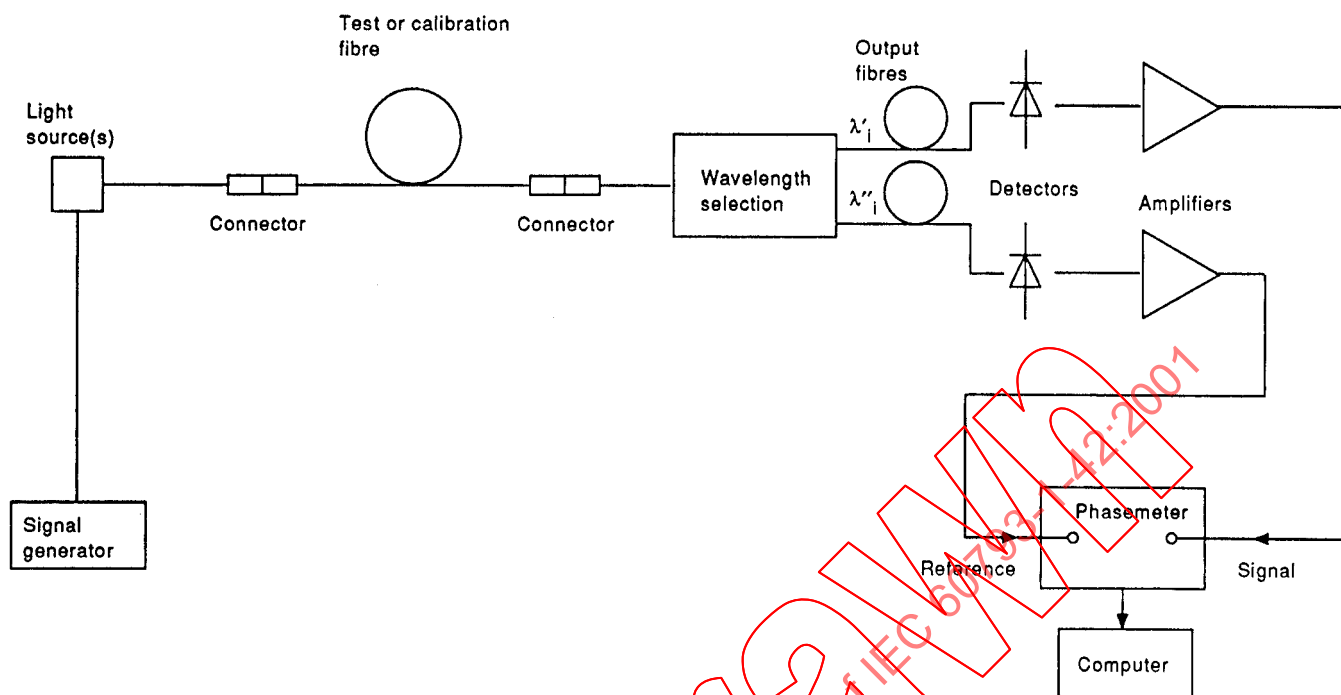
IEC 686/01

Figure C.3 – Montage de mesure de dispersion chromatique de fibres – Phase différentielle par la méthode à double longueur d'onde



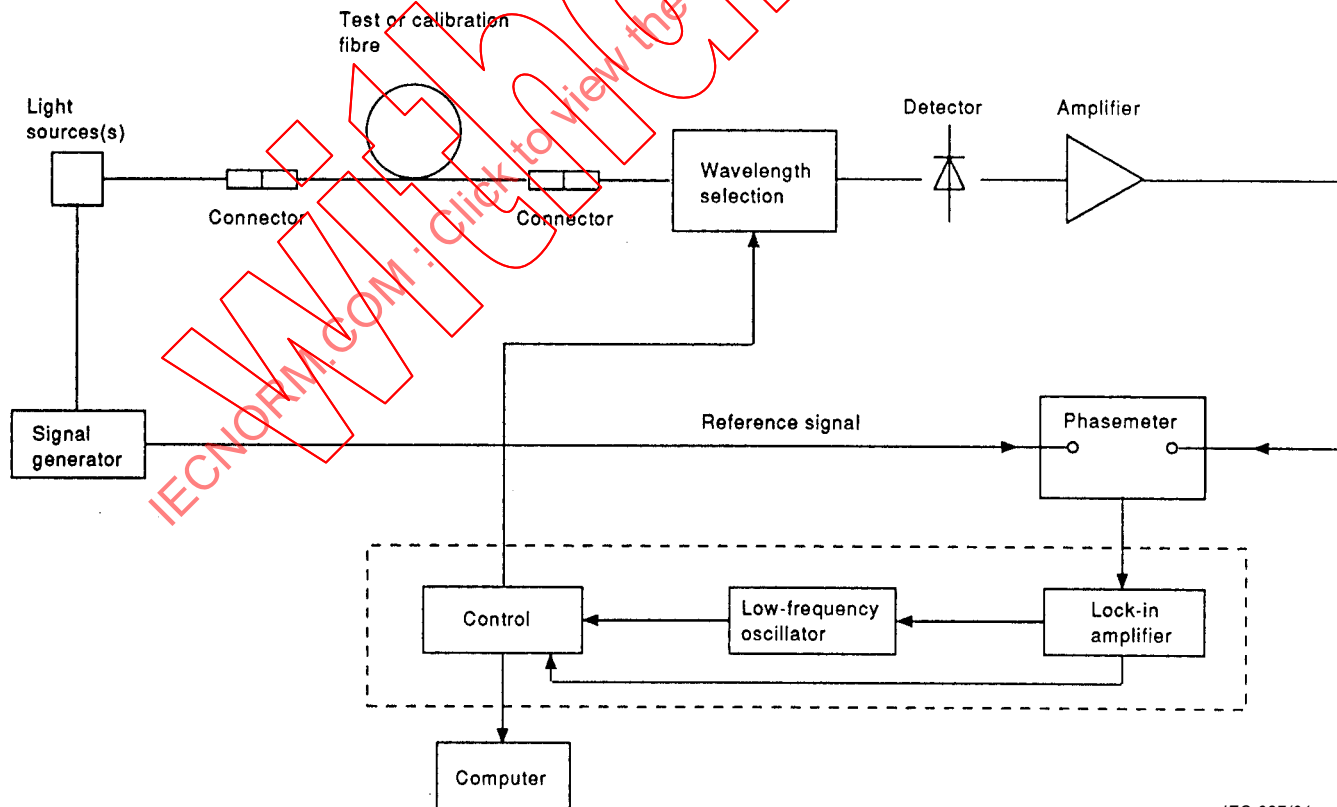
IEC 687/01

Figure C.4 – Montage de mesure de dispersion chromatique de fibres – Phase différentielle par double démodulation



IEC 686/01

Figure C.3 – Fibre chromatic dispersion measurement set –
Differential phase by dual wavelength method



IEC 687/01

Figure C.4 – Fibre chromatic dispersion measurement set –
Differential phase by double demodulation

Le troisième exemple est illustré par la figure C.4. La lumière est alternée entre deux longueurs d'onde à une fréquence de plusieurs centaines de hertz, permettant ainsi la détection d'une phase différentielle à la sortie du phasemètre. Le phasemètre génère un signal alternatif qui est synchrone avec la modulation de la longueur d'onde et dont l'amplitude est proportionnelle à la phase différentielle entre les deux longueurs d'onde d'essai. Le signal est ensuite démodulé par un amplificateur à verrouillage pour générer un signal continu représentant la phase différentielle. Déterminer la dispersion chromatique à la longueur d'onde moyenne à partir de la phase différentielle et de la longueur de la fibre.

Il est possible de prévoir un dispositif optique, tel qu'un atténuateur optique variable pour réguler la puissance optique reçue.

C.1.4 Signal de référence

Transmettre au phasemètre un signal de référence, dont la composante de Fourier fondamentale est identique à celle du signal de modulation, et qui servira à mesurer les phases différentielles des sources de signaux. Le signal de référence doit être impérativement synchronisé par rapport au signal de modulation et est typiquement déduit à partir du signal de modulation.

Exemples de signaux de référence (voir figure C.1):

- Lorsque les sources de signaux et le détecteur sont voisins, comme lors d'un essai en laboratoire, ou lors d'un étalonnage, il est possible d'utiliser une connexion électrique entre le générateur de signaux et la borne de référence du phasemètre.
- Pour ce qui concerne les équipements voisins, il est également possible d'utiliser un dérivateur optique, installé avant l'échantillon à l'essai, et un détecteur.
- Pour ce qui concerne les essais sur site, relatifs aux câbles optiques (sources et détecteur non voisins), il est possible d'utiliser une liaison optique, comprenant, de façon typique, une source lumineuse modulée, une fibre et un détecteur similaires à ceux utilisés pour l'échantillon à l'essai.

C.2 Procédure

C.2.1 Mesures relatives à l'échantillon à l'essai

Insérer l'échantillon à l'essai dans l'appareillage de mesure et établir un signal de référence. Mesurer et enregistrer la phase différentielle $\Delta\phi(\lambda_i)$ des paires de longueurs d'onde adjacentes λ_i' et λ_i'' avec la longueur d'onde moyenne λ_i .

C.2.2 Etalonnage

Insérer la fibre de référence dans l'appareillage de mesure et établir un signal de référence.

Mesurer et enregistrer la phase différentielle $\Delta\phi'(\lambda_i)$ des paires de longueurs d'onde adjacentes λ_i' et λ_i'' avec la longueur d'onde moyenne λ_i .

NOTE Effectuer toutes les mesures concernant l'échantillon à l'essai et l'étalonnage avec le niveau de puissance optique à l'entrée du détecteur ajusté à une plage de valeurs qui minimise les déphasages en fonction des niveaux dans le détecteur et dans les dispositifs électroniques.

C.3 Calculs

Pour ce qui concerne le calcul de la dispersion, soustraire la phase différentielle de la fibre d'étalonnage à chaque paire de longueurs d'onde de la phase différentielle correspondante de l'échantillon à l'essai.

The third example is depicted in figure C.4. The light is alternated between two wavelengths at a frequency of several hundred hertz, allowing detection of a differential phase output using the phasemeter. The phasemeter produces an a.c. signal, synchronous with the wavelength modulation, with amplitude proportional to the differential phase between the two test wavelengths. This signal is subsequently de-modulated by a lock-in amplifier to produce a d.c. signal representing the differential phase. Determine chromatic dispersion at the mean wavelength from the differential phase and fibre length.

Optical means, such as a variable optical attenuator, may be provided to control the received optical power.

C.1.4 Reference signal

Provide a reference signal with the same fundamental Fourier component as the modulating signal to the phasemeter, against which to measure the differential phases of the signal sources. The reference signal shall imperatively be synchronized to the modulating signal and is typically derived from the modulating signal.

The following are examples of reference signals (see figure C.1):

- a) Where the signal sources and detector are co-located, such as in a laboratory measurement or during calibration, an electrical connection can be used between the signal generator and the reference port of the phasemeter.
- b) An optical splitter, inserted before the specimen, and a detector, may also be used for co-located equipment.
- c) For field testing of optical cables (sources and detector not co-located), an optical link can be used, typically comprising a modulated light source, fibre and detector similar to those used for the specimen.

C.2 Procedure

C.2.1 Specimen measurements

Insert the specimen in the measurement apparatus and establish a reference signal. Measure and record the differential phase, $\Delta\phi(\lambda_i)$, of adjacent pairs of wavelengths, λ_i' and λ_i'' , with mean wavelength, λ_i .

C.2.2 Calibration

Insert the reference fibre into the measurement apparatus and establish a reference signal.

Measure and record the differential phase, $\Delta\phi'(\lambda_i)$, of adjacent pairs of wavelengths λ_i' , λ_i'' , with mean wavelength, λ_i .

NOTE Perform all specimen and calibration measurements with the input optical power level at the detector adjusted to a range that minimizes level-dependent phase shifts in the detector and electronics.

C.3 Calculations

For calculating dispersion, subtract the calibration fibre differential phase at each wavelength pair from the corresponding specimen's differential phase.

C.3.1 Le coefficient de dispersion chromatique, $D(\lambda_i)$, à chaque longueur d'onde λ_i , est donné par la relation suivante:

$$D(\lambda_i) = \frac{\Delta\phi(\lambda_i) - \Delta\phi'(\lambda_i)}{360 \times f \times L \times \Delta\lambda} 10^{12} \text{ ps/(nm} \times \text{km)} \quad (\text{C.2})$$

où

$D(\lambda_i)$ est le coefficient de dispersion chromatique;

λ_i est la valeur moyenne des deux longueurs d'onde λ_i' et λ_i'' , en nm;

$\Delta\phi(\lambda_i)$ a été mesurée en C.2.1, en degrés;

$\Delta\phi'(\lambda_i)$ a été mesurée en C.2.2, en degrés;

f est la fréquence de l'onde de modulation, en Hz;

L est la longueur de l'échantillon à l'essai moins la longueur de l'éprouvette en étalonnage, en km;

$\Delta\lambda = \lambda_i' - \lambda_i''$, en nm.

C.3.2 Le coefficient de dispersion chromatique lui-même peut servir à caractériser la fibre à l'essai. Aucun traitement de données ni aucun calcul supplémentaire ne sont requis pour la mesure du ou des coefficients de dispersion à la ou aux longueurs d'onde d'essai utilisées.

C.3.3 Il est possible de calculer les valeurs en procédant conformément à l'article 8 pour obtenir la longueur d'onde de dispersion nulle λ_0 et la pente de dispersion S_0 à λ_0 .

C.3.1 The chromatic dispersion coefficient, $D(\lambda_i)$, at each wavelength, λ_i , is given by:

$$D(\lambda_i) = \frac{\Delta\phi(\lambda_i) - \Delta\phi'(\lambda_i)}{360 \times f \times L \times \Delta\lambda} 10^{12} \text{ ps/(nm} \times \text{km)} \quad (\text{C.2})$$

where

$D(\lambda_i)$ is the chromatic dispersion coefficient;

λ_i is the mean value of the two wavelengths λ_i' and λ_i'' , in nm;

$\Delta\phi(\lambda_i)$ was measured in C.2.1 in degrees;

$\Delta\phi'(\lambda_i)$ was measured in C.2.2 in degrees;

f is the frequency of the modulating waveform, in Hz;

L is the specimen length minus the calibration specimen length, in km;

$\Delta\lambda = \lambda_i' - \lambda_i''$ in nanometres, in nm.

C.3.2 The chromatic dispersion coefficient may in itself be used to characterize the fibre under test. No other data processing or calculation is necessary for the measurement of the dispersion coefficient(s) at the measurement wavelength(s) used.

C.3.3 The data may be calculated as shown in clause 8 to obtain the zero dispersion wavelength, λ_0 , and the dispersion slope, S_0 , at λ_0 .