

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60793-1-48

Première édition
First edition
2003-05

Fibres optiques –

**Partie 1-48:
Méthodes de mesure et procédures d'essai –
Dispersion de mode de polarisation**

Optical fibres –

**Part 1-48:
Measurement methods and test procedures –
Polarization mode dispersion**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60793-1-48:2003

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 (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.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 (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.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 (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.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 (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.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**

60793-1-48

Première édition
First edition
2003-05

Fibres optiques –

**Partie 1-48:
Méthodes de mesure et procédures d'essai –
Dispersion de mode de polarisation**

Optical fibres –

**Part 1-48:
Measurement methods and test procedures –
Polarization mode dispersion**

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XA**

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	10
1 Domaine d'application.....	12
2 Références normatives	12
3 Généralités	12
3.1 Méthode d'essai de référence	16
3.2 Applicabilité	18
4 Appareillage.....	18
4.1 Source de lumière et polariseurs.....	18
4.2 Optique d'entrée	20
4.3 Positionneur d'entrée	20
4.4 Extracteur de mode de gaine	20
4.5 Filtre de mode d'ordre élevé	20
4.6 Positionneur de sortie	22
4.7 Optique de sortie	22
4.8 Détecteur	22
4.9 Calculateur	22
5 Echantillonnage et échantillons en essai.....	22
5.1 Longueur des échantillons en essai	24
5.2 Déploiement	24
6 Procédure	26
6.1 Déployer la fibre ou le câble et préparer les extrémités.....	26
6.2 Fixer les extrémités à l'optique d'entrée et à l'optique de sortie.....	26
6.3 Utiliser le calculateur pour effectuer les analyses et les mesures indiquées dans les Annexes A, B et C pour les trois méthodes de mesure.....	26
6.4 Remplir les documents.....	26
7 Calcul ou interprétation des résultats	26
8 Documentation.....	26
8.1 Informations requises pour chaque mesure.....	26
8.2 Informations nécessairement disponibles.....	28
9 Informations relatives à la spécification.....	28
 Annexe A (normative) Méthode de mesure par analyseur fixe	30
Annexe B (normative) Méthode d'évaluation de Stokes	46
Annexe C (normative) Méthode par interférométrie	60
Annexe D (informative) Résultats d'intercomparaison de la dispersion de mode de polarisation (PMD) et observations.....	68
Annexe E (informative) Stratégies d'amélioration de la précision.....	76
Annexe F (informative) Algorithme d'identification de pic pour le comptage d'extrema utilisé dans la Méthode A	80
Annexe G (informative) Support théorique de l'analyse de Fourier pour la Méthode A	84
Annexe H (informative) Détermination du régime de couplage de mode à partir des valeurs du retard de groupe différentiel (DGD)	90

CONTENTS

FOREWORD	7
INTRODUCTION	11
1 Scope	13
2 Normative references	13
3 General	13
3.1 Reference test method	17
3.2 Applicability	19
4 Apparatus	19
4.1 Light source and polarizers	19
4.2 Input optics	21
4.3 Input positioner	21
4.4 Cladding mode stripper	21
4.5 High-order mode filter	21
4.6 Output positioner	23
4.7 Output optics	23
4.8 Detector	23
4.9 Computer	23
5 Sampling and specimens	23
5.1 Specimen length	25
5.2 Deployment	25
6 Procedure	27
6.1 Deploy the fibre or cable and prepare the ends	27
6.2 Attach the ends to the input and output optics	27
6.3 Engage the computer to complete the scans and measurements found in Annexes A, B, and C for the three measurement methods	27
6.4 Complete documentation	27
7 Calculation or interpretation of results	27
8 Documentation	27
8.1 Information required for each measurement	27
8.2 Information to be available	29
9 Specification information	29
Annex A (normative) Fixed analyser measurement method	31
Annex B (normative) Stokes evaluation method	47
Annex C (normative) Interferometry method	61
Annex D (informative) PMD intercomparison results and observations	69
Annex E (informative) Strategies for improving precision	77
Annex F (informative) Peak identification algorithm for extrema counting used in Method A	81
Annex G (informative) Fourier analysis theoretical background for Method A	85
Annex H (informative) Determination of mode-coupling regime from DGD values	91

Annexe I (informative) Equivalence formelle des méthodes d'analyses des valeurs propres de la matrice de Jones et de la sphère de Poincaré (PSA et JME) et comparaison des résultats	96
Annexe J (informative) Détermination de la dispersion de mode de polarisation (PMD) par la Méthode C pour un interférogramme avec un pic d'autocorrélation	110
Annexe K (informative) Glossaire	116
Bibliographie	118
Figure A.1 – Schémas relatifs à l'analyseur fixe	30
Figure A.2 – Exemple de fonction R pour la méthode à analyseur fixe	36
Figure A.3 – La dispersion de mode de polarisation (PMD) par l'analyse de Fourier	44
Figure B.1 – Représentation schématique pour la Méthode B	46
Figure B.2 – Retard de groupe différentiel (DGD) en fonction de la longueur d'onde	50
Figure B.3 – Histogramme des valeurs du retard de groupe différentiel (DGD)	50
Figure C.1 – Représentation schématique pour la Méthode C	60
Figure C.2 – Données typiques obtenues par la Méthode C	64
Figure D.1 – Comparaison des méthodes PMD et des calculs à partir des tests interlaboratoires	70
Figure H.1 – Exemple d'estimation de statistiques de mesures de PMD – Valeurs du retard de groupe différentiel (DGD) mesurées et idéales avec superposition des courbes de Maxwell	94
Figure I.1 – Variation du DGD en fonction de la fréquence optique	100
Figure I.2 – Trajectoires des états principaux de polarisation (PSP) sur la sphère de Poincaré	102
Figure I.3 – Différences entre les trajectoires des PSP et les trois paramètres de Stokes à partir de la Figure I.2	102
Figure I.4 – Système de coordonnées rectangulaires définies par les vecteurs réponses de Stokes, et angles de direction de la dispersion de polarisation dans ce système de coordonnées	104
Figure I.5 – Arc de cercle décrit par l'état de polarisation de sortie dans l'intervalle $[\omega, \omega + \Delta\omega]$	106
Tableau D.1 – Comparaison des méthodes et calculs de la dispersion de mode de polarisation (PMD) à partir de la séquence interlaboratoire PMD COST 241	72
Tableau D.2 – Matrice de méthodes de mesure de PMD	74

Annex I (informative) Formalistic equivalence of PSA and JME and result comparison.....	97
Annex J (informative) PMD determination by Method C for an interferogram with an auto-correlation peak	111
Annex K (informative) Glossary	117
 Bibliography	 119
 Figure A.1 – Block diagrams for fixed analyser.....	 31
Figure A.2 – Examples of the R-function for the fixed analyser method	37
Figure A.3 – PMD by Fourier analysis	45
Figure B.1 – Block diagram for Method B	47
Figure B.2 – DGD versus wavelength.....	51
Figure B.3 – Histogram of DGD values.....	51
Figure C.1 – Schematic diagram for Method C	61
Figure C.2 – Typical data obtained by Method C	65
Figure D.1 – PMD wavelength scan data round robin	71
Figure H.1 – Example assessments of PMD measurement statistics – measured and ideal DGD values with superimposed Maxwell curves	95
Figure I.1 – DGD versus optical frequency.....	101
Figure I.2 – PSP trajectories on the Poincaré sphere	103
Figure I.3 – Differences between PSP trajectories and the three Stokes parameters from Figure I.2	103
Figure I.4 – Rectangular system of coordinates defined by the response Stokes vectors and direction angles of the polarization dispersion vector in this system of coordinates	105
Figure I.5 – Arc of a circle described by the output SOP in the interval $[\omega, \omega + \Delta\omega]$	107
 Table D.1 – Comparison of PMD methods and calculations from the COST 241 PMD Round Robin	 73
Table D.2 – Matrix of PMD measurement methods	75

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FIBRES OPTIQUES –

Partie 1-48: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Dispersion de mode de polarisation

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique 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 60793-1-48 a été établie par le sous-comité 86A: Fibres et câbles, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86A/849/FDIS	86A/858/RVD

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

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

La présente norme doit être lue conjointement avec la CEI 60793-1-1.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

OPTICAL FIBRES –

**Part 1-48: Measurement methods and test procedures –
Polarization mode 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 60793-1-48 has been prepared by subcommittee 86A: Fibres and cables, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

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

FDIS	Report on voting
86A/849/FDIS	86A/858/RVD

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

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

This standard is to be read in conjunction with IEC 60793-1-1.

La CEI 60793-1-4X de la CEI comprend les parties suivantes, 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 – Largeur de bande

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 optique

Partie 1-47: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Pertes dues aux macrocourbures

Partie 1-48: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Dispersion de mode de polarisation¹

Partie 1-49: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Retard différentiel de mode²

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2005. A cette date, la publication sera

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

¹ A publier.

² A publier.

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 – Polarization mode dispersion¹
- Part 1-49: Measurement methods and test procedures – Differential mode delay²

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2005. At this date, the publication will be

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

¹ To be published.

² To be published.

INTRODUCTION

La dispersion de mode de polarisation (PMD) provoque l'élargissement d'une impulsion optique dans le domaine temporel. Cette dispersion pourrait détériorer les qualités de fonctionnement d'un système de télécommunication. L'effet peut être lié aux vitesses différentielles de phase et de groupe et aux temps d'arrivée $\delta\tau$ correspondants des différentes composantes de polarisation du signal. Pour une source à bande suffisamment étroite, l'effet peut être lié à un retard de groupe différentiel (DGD), $\Delta\tau$, entre paires d'états principaux de polarisation (PSP) polarisées orthogonalement, pour une longueur d'onde donnée. Pour une transmission à large bande, les temps divergent et conduisent à une impulsion de sortie élargie dans le domaine temporel. Dans ce cas, l'élargissement peut être lié à la moyenne des valeurs du DGD.

Pour des grandes longueurs de fibres, le DGD est aléatoire tant dans le domaine temporel que dans le domaine spectral, dans la mesure où il dépend des détails de la biréfringence sur toute la longueur de la fibre. Il est également sensible aux variations de température et aux perturbations mécaniques le long de la fibre. Pour cette raison, une façon utile de caractériser la PMD des fibres de grande longueur est de le faire en terme de valeur attendue $\langle\Delta\tau\rangle$, c'est-à-dire le DGD moyen sur toute la longueur d'onde. En principe, la valeur attendue $\langle\Delta\tau\rangle$ ne subit pas de grandes modifications pour une fibre donnée, d'un jour à l'autre ou d'une source à l'autre, à la différence des paramètres $\delta\tau$ ou $\Delta\tau$. De plus, $\langle\Delta\tau\rangle$ est un moyen de prévision utile des qualités de fonctionnement des systèmes optiques.

Le terme «PMD» est utilisé à la fois dans un sens général désignant deux modes de polarisation ayant des vitesses de groupes différentes, et dans le sens spécifique de la valeur attendue $\langle\Delta\tau\rangle$. Le DGD, $\Delta\tau$, ou l'élargissement d'impulsion, $\delta\tau$, peuvent faire l'objet d'une moyenne sur la longueur d'onde, conduisant à $\langle\Delta\tau\rangle_\lambda$, ou sur la durée, conduisant à $\langle\Delta\tau\rangle_t$, ou sur la température, conduisant à $\langle\Delta\tau\rangle_T$. Dans la plupart des cas, il n'est pas nécessaire de faire la distinction entre ces différentes options pour obtenir $\langle\Delta\tau\rangle$.

La longueur de couplage l_c est la longueur de fibre ou de câble avec laquelle un couplage appréciable commence à se produire entre les deux états de polarisation (SOP). Si la longueur de fibre L satisfait à la condition $L \ll l_c$, le couplage de mode est négligeable et $\langle\Delta\tau\rangle$ augmente avec la longueur de fibre. Le coefficient de la PMD correspondant est:

$$\text{coefficient de PMD «de faible longueur»} = \langle\Delta\tau\rangle/L \quad (1)$$

Dans la pratique, les fibres sont presque toujours en régime $L \gg l_c$ et le couplage de mode est aléatoire. Si l'on établit que le couplage de mode est aléatoire, $\langle\Delta\tau\rangle$ augmente avec la racine carrée de la longueur de la fibre, et

$$\text{coefficient de PMD «de grande longueur»} = \langle\Delta\tau\rangle/\sqrt{L} \quad (2)$$

Le texte fournit des moyens pour décider de l'opportunité d'utiliser l'Equation (1) ou l'Equation (2) pour calculer le coefficient de la PMD. Les unités types sont ps pour $\Delta\tau$, km pour L , ps/km pour la PMD «faible longueur» et ps/ $\sqrt{\text{km}}$ pour la PMD «grande longueur». Voir 5.1 et l'Annexe H pour obtenir plus de détails sur la détermination du régime de couplage de mode.

INTRODUCTION

Polarization mode dispersion (PMD) causes an optical pulse to spread in the time domain. This dispersion could impair the performance of a telecommunications system. The effect can be related to differential phase and group velocities and corresponding arrival times $\delta\tau$ of different polarization components of the signal. For a sufficiently narrow band source, the effect can be related to a differential group delay (DGD), $\Delta\tau$, between pairs of orthogonally polarized principal states of polarization (PSP) at a given wavelength. For broadband transmission, the delays bifurcate and result in an output pulse that is spread out in the time domain. In this case, the spreading can be related to the average of DGD values.

In long fibre spans, DGD is random in both time and wavelength since it depends on the details of the birefringence along the entire fibre length. It is also sensitive to time-dependent temperature and mechanical perturbations on the fibre. For this reason, a useful way to characterize PMD in long fibres is in terms of the expected value $\langle\Delta\tau\rangle$, or the mean DGD over wavelength. In principle, the expected value $\langle\Delta\tau\rangle$ does not undergo large changes for a given fibre from day to day or from source to source, unlike the parameters $\delta\tau$ or $\Delta\tau$. In addition, $\langle\Delta\tau\rangle$ is a useful predictor of lightwave system performance.

The term “PMD” is used both in the general sense of two polarization modes having different group velocities, and in the specific sense of the expected value $\langle\Delta\tau\rangle$. The DGD $\Delta\tau$ or pulse broadening $\delta\tau$ can be averaged over wavelength, yielding $\langle\Delta\tau\rangle_\lambda$, or time, yielding $\langle\Delta\tau\rangle_t$, or temperature, yielding $\langle\Delta\tau\rangle_T$. For most purposes, it is not necessary to distinguish between these various options for obtaining $\langle\Delta\tau\rangle$.

The coupling length l_c is the length of fibre or cable at which appreciable coupling between the two SOPs begins to occur. If the fibre length L satisfies the condition $L \ll l_c$, mode-coupling is negligible and $\langle\Delta\tau\rangle$ scales with fibre length. The corresponding PMD coefficient is

$$\text{“short-length” PMD coefficient} = \langle\Delta\tau\rangle/L. \quad (1)$$

Fibres in practical systems are nearly always in the $L \gg l_c$, regime and mode-coupling is random. If mode-coupling is found to be random, $\langle\Delta\tau\rangle$ scales with the square root of fibre length, and

$$\text{“long-length” PMD coefficient} = \langle\Delta\tau\rangle/\sqrt{L} \quad (2)$$

The text provides means for deciding when it is appropriate to use Equations (1) or (2) to calculate the PMD coefficient. Typical units are ps for $\Delta\tau$, km for L , ps/km for short-length PMD, and ps/ $\sqrt{\text{km}}$ for long-length PMD. See 5.1 and Annex H for more details on determining the mode-coupling regime.

FIBRES OPTIQUES –

Partie 1-48: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Dispersion de mode de polarisation

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60793 s'applique à trois méthodes de mesure de la dispersion de mode de polarisation (PMD) qui sont décrites à l'Article 3. Elle établit les prescriptions uniformes pour mesurer la PMD de la fibre optique contribuant ainsi au contrôle des fibres et des câbles dans les relations commerciales.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60793-1-1, *Fibres optiques – Partie 1-1: Spécification générale – Généralités*

CEI 60793-1-44:2001, *Fibres optiques – Partie 1-44: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Longueur d'onde de coupure*

CEI 60793-1-50:2001, *Fibres optiques – Partie 1-50: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Chaleur humide (essai continu)*

CEI 60793-2-50:2002, *Fibres optiques – Partie 2-50: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres unimodales de classe B*

CEI 60794-3:2001, *Câbles à fibres optiques – Partie 3: Spécification intermédiaire – Câbles extérieurs*

CEI 61280 (toutes les parties), *Procédures d'essai de base des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques*

CEI 61282-3:2002, *Guides de conception des systèmes de communication à fibre optiques – Partie 3: Calcul de la dispersion en mode de polarisation* (disponible en anglais seulement)

3 Généralités

Trois méthodes sont décrites pour mesurer la PMD (voir Annexes A, B et C pour plus de détails). Les méthodes sont indiquées ci-dessous dans leur ordre de présentation. Pour certaines méthodes, plusieurs approches sont également proposées pour analyser les résultats mesurés.

Méthode A **Analyseur fixe**

Comptage des extrema (EC)

Transformée de Fourier (FT)

OPTICAL FIBRES –

Part 1-48: Measurement methods and test procedures – Polarization mode dispersion

1 Scope

This part of IEC 60793 applies to three methods of measuring PMD, which are described in Clause 3. It establishes uniform requirements for measuring the PMD of optical fibre, thereby assisting in the inspection of fibres and cables for commercial purposes.

2 Normative references

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

IEC 60793-1-1, *Optical fibres – Part 1-1: Generic specification – General*

IEC 60793-1-44:2001, *Optical fibres – Part 1-44: Measurement methods and test procedures – Cut-off wavelength*

IEC 60793-1-50:2001, *Optical fibres – Part 1-50: Measurement methods and test procedures – Damp heat (steady state)*

IEC 60793-2-50:2002, *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres*

IEC 60794-3:2001, *Optical fibre cables – Part 3: Sectional specification – Outdoor cables*

IEC 61280 (all parts), *Fibre optic communication subsystem basic test procedures*

IEC 61282-3:2002, *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion in fibre optic systems*

3 General

Three methods are described for measuring PMD (see Annexes A, B and C for more details). The methods are listed below in the order of their introduction. For some methods, multiple approaches of analysing the measured results are also provided.

Method A **Fixed analyser**

Extrema counting (EC)

Fourier transform (FT)

Méthode B **Evaluation des paramètres de Stokes**

Analyse des valeurs propres de la matrice de Jones (JME)

Analyse de la sphère de Poincaré (PSA)

Etat de polarisation (SOP)

Méthode C **Interférométrie**

Couplage de mode négligeable

Couplage de mode aléatoire

Toutes ces méthodes sont appropriées pour des mesures en laboratoire sur des longueurs de fabrication (d'usine) de fibres optiques et de câbles optiques. Pour toutes ces méthodes, des modifications dans le déploiement de l'échantillon peuvent fausser les résultats. Pour des longueurs installées, seule la Méthode C convient pour mesurer un câble optique susceptible de bouger ou de vibrer.

Toutes ces méthodes prescrivent des sources lumineuses contrôlées au niveau d'un ou de plusieurs états de polarisation (SOP). Toutes ces méthodes nécessitent l'injection de lumière dans un large domaine spectral (c'est-à-dire, ayant une largeur comprise entre 50 nm et 200 nm) afin d'obtenir une valeur de PMD qui soit caractéristique du domaine (c'est-à-dire 1 300 nm ou 1 550 nm). Les méthodes diffèrent sur les points suivants:

- a) les caractéristiques de la longueur d'onde de la source;
- b) les caractéristiques physiques qui sont réellement mesurées,
- c) les méthodes d'analyse.

La Méthode A mesure la PMD en mesurant une réponse à une variation de la lumière à bande étroite dans une gamme de longueurs d'onde. Au niveau de la source, la lumière est polarisée linéairement pour un ou plusieurs états de polarisation. Pour chaque état, la variation de la puissance de sortie filtrée à travers un analyseur de polarisation fixe, par rapport à la puissance détectée sans l'analyseur, est mesurée en fonction de la longueur d'onde. La fonction mesurée résultante peut être analysée de deux manières:

- En comptant le nombre de pics et de creux (comptage des extrema) de la courbe et en appliquant une formule précédemment indiquée [1]³ pour être en accord avec la moyenne des valeurs du retard de groupe différentiel (DGD). Cette analyse est considérée comme une approche dans le domaine de fréquences.
- En prenant la transformée de Fourier de la fonction mesurée. Cette transformée équivaut à l'élargissement d'impulsion obtenu par la transmission à large bande de la Méthode C. Une caractérisation appropriée de la largeur de la fonction transformée concorde avec les valeurs moyennes du DGD.

La Méthode B mesure la PMD en mesurant une réponse à une variation d'un rayonnement lumineux à bande étroite dans une gamme de longueurs d'onde. Au niveau de la source, la lumière a une polarisation linéaire pour un ou plusieurs états de polarisation. Le vecteur de Stokes de la lumière en sortie est mesuré pour chaque longueur d'onde. La variation de ces vecteurs de Stokes en fonction de la fréquence angulaire (longueur d'onde) ω et en fonction de la variation (éventuelle) de l'état de polarisation en entrée permet d'obtenir le retard de groupe différentiel (DGD) en fonction de la longueur d'onde, par le biais de relations fondées sur les définitions suivantes:

$$\frac{ds(\omega)}{d\omega} = \Omega(\omega) \times s(\omega) \quad (3a)$$

³ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

Method B Stokes parameter evaluation

Jones matrix eigenanalysis (JME)

Poincaré sphere analysis (PSA)

State of polarization (SOP)

Method C Interferometry

Negligible mode-coupling

Random mode-coupling

All these methods are suitable for laboratory measurements of factory lengths of optical fibre and optical fibre cable. For all methods, changes in the deployment of the specimen can alter the results. For installed lengths, only Method C is appropriate for measurements of installed optical fibre cable that may be moving or vibrating.

All methods require light sources that are controlled at one or more SOPs. All methods require injecting light across a broad spectral region (i.e. 50 nm to 200 nm wide) to obtain a PMD value that is characteristic of the region (i.e. 1300 nm or 1550 nm). The methods differ in

- a) the wavelength characteristics of the source;
- b) the physical characteristics that are actually measured;
- c) the analysis methods.

Method A measures PMD by measuring a response to a change of narrowband light across a wavelength range. At the source, the light is linearly polarized at one or more states of polarization. For each state, the change in output power that is filtered through a fixed polarization analyser, relative to the power detected without the analyser, is measured as a function of wavelength. The resulting measured function can be analysed in one of two ways.

- By counting the number of peaks and valleys (extrema counting) of the curve and application of a formula that has been shown [1]³ to agree with the average of DGD values. This analysis is considered as a frequency domain approach.
- By taking the Fourier transform of the measured function. This transform is equivalent to the pulse spreading obtained by the broadband transmission of Method C. Appropriate characterization of the width of the transform function agrees with the average of DGD values.

Method B measures PMD by measuring a response to a change of narrowband light across a wavelength range. At the source, the light is linearly polarized at one or more states of polarization. The Stokes vector of the output light is measured for each wavelength. The change of these Stokes vectors with angular optical frequency (wavelength), ω and with the (optional) change in input state of polarization yields the DGD as a function of wavelength through relationships that are based on the following definitions:

$$\frac{ds(\omega)}{d\omega} = \Omega(\omega) \times s(\omega) \quad (3a)$$

³ Figures in square brackets refer to the bibliography.

$$\Delta\tau(\omega) = \|\Omega(\omega)\| \quad (3b)$$

où

s est le vecteur de Stokes en sortie;

Ω est le vecteur de dispersion de polarisation dans la direction des PSP;

$\Delta\tau$ est le DGD.

Pour les deux méthodes d'analyses des valeurs propres de la Matrice de Jones et de la sphère de Poincaré (JME et PSA) linéaires, trois états de polarisation (SOP), positionnés de façon nominale à 0°, 45° et 90° (orthogonaux sur la sphère de Poincaré), doivent être injectés pour chaque longueur d'onde. Pour l'analyse des états de polarisation (SOP), un seul état d'entrée est requis.

La méthode d'analyse des valeurs propres de la Matrice de Jones (JME) est appliquée en transformant les vecteurs de Stokes de sortie en matrices de Jones [2], en combinant de façon appropriée les matrices à des longueurs d'onde voisines et en utilisant les valeurs propres du résultat pour calculer le DGD, grâce à une formule d'argument à la fréquence de base.

La méthode d'analyse de la sphère de Poincaré (PSA) est appliquée en effectuant un calcul algébrique matriciel sur les vecteurs de Stokes de sortie normalisés pour déduire le vecteur de Stokes de sortie associé à la biréfringence circulaire au niveau de deux longueurs d'onde voisines, puis en appliquant une formule en Arc sinus pour obtenir le DGD.

La méthode de l'état de polarisation (SOP) est fondée sur une évaluation par morceaux de l'équation 3a en utilisant les vecteurs de Stokes normalisés mesurés.

Les méthodes d'analyses des valeurs propres de la matrice de Jones et de la sphère de Poincaré (JME et PSA) sont mathématiquement équivalentes pour des hypothèses communes. La méthode des états de polarisation (SOP) donne des résultats corrects lorsque le transit du vecteur de Stokes de sortie s'est bien déroulé (couplage de mode négligeable), mais elle peut donner des résultats incorrects lorsque le vecteur de Stokes de sortie change rapidement et aléatoirement. Le temps de mesure supplémentaire, requis pour les trois états de polarisation d'entrée pour les méthodes d'analyses des valeurs propres de la matrice de Jones et de la sphère de Poincaré (JME et PSA), permet de renforcer la fiabilité de la mesure.

La Méthode C est basée sur une source de lumière à large bande qui est linéairement polarisée. La corrélation croisée du champ électromagnétique émergent est déterminée par le diagramme d'interférence de la lumière en sortie. La caractérisation de ce diagramme est effectuée soit en calculant la largeur efficace pour des échantillons à couplage de mode aléatoire, soit en évaluant le «pic» le plus extrême de l'interférogramme pour des échantillons à couplage de mode négligeable. En ce qui concerne les échantillons à couplage de mode aléatoire, la largeur efficace est liée à la valeur moyenne du retard de groupe différentiel (PMD).

Des informations communes aux trois méthodes sont fournies aux Articles 3 à 9. et des exigences relatives à chaque méthode individuelle figurent respectivement dans les Annexes A, B et C.

3.1 Méthode d'essai de référence

La Méthode B, c'est-à-dire l'évaluation des paramètres de Stokes (uniquement pour les méthodes d'analyses des valeurs propres de la matrice de Jones et de la sphère de Poincaré (JME et PSA)), constitue la méthode d'essai de référence («RTM») qui doit être utilisée pour régler les litiges.

$$\Delta\tau(\omega) = \|\Omega(\omega)\| \quad (3b)$$

where

$\mathbf{s}$ is the output Stokes vector;

Ω is the polarization dispersion vector in the direction of the PSPs;

$\Delta\tau$ is the DGD.

For both the JME and PSA analysis approaches, three linear SOPs at nominally 0°, 45°, and 90° (orthogonal on the Poincaré sphere) must be launched for each wavelength. For the SOP analysis, only one input state is required.

The JME approach is completed by transforming the output Stokes vectors to Jones matrices [2], appropriate combination of the matrices at adjacent wavelengths, and a calculation using the eigenvalues of the result to obtain the DGD, by application of an argument formula, at the base frequency.

The PSA approach is completed by doing matrix algebra on the normalized output Stokes vectors to infer the output Stokes vector associated with circular birefringence at two adjacent wavelengths, followed by the application of an arcsine formula to obtain the DGD.

The SOP approach is based on a piecewise evaluation of Equation (3a) using the normalized measured Stokes vectors.

The JME and PSA approaches are mathematically equivalent for common assumptions. The SOP approach yields valid results when the transit of the output Stokes vector is well-behaved (negligible mode-coupling) but can produce incorrect results when the output Stokes vector changes rapidly and randomly. The extra measurement time required for the three input states of polarization for JME and PSA result in a more robust measurement.

Method C is based on a broadband light source that is linearly polarized. The cross-correlation of the emerging electromagnetic field is determined by the interference pattern of the output light. The characterization of this pattern is either done by computing the r.m.s width for randomly mode-coupled specimens or by evaluation of the most extreme interferogram “spike” for specimens with negligible mode-coupling. For random mode-coupled specimens, the r.m.s width relates to the average DGD (PMD).

Information common to all three methods is contained in Clauses 3 to 9, and requirements pertaining to each individual method appear in Annexes A, B, and C, respectively.

3.1 Reference test method

Method B, Stokes parameter evaluation (only JME and PSA approaches), is the reference test method (RTM), which shall be the one used to settle disputes.

3.2 Applicabilité

La PMD dans une fibre est un paramètre statistique. La CEI 60794-3 contient une prescription statistique sur la PMD, qui est fondée sur des mesures échantillonnées effectuées sur un câble optique et sur des calculs relatifs à des liaisons bout à bout. La CEI 60793-2-50 fait état d'une valeur maximale facultative pour des fibres individuelles non câblées à l'appui des résultats relatifs à des fibres câblées – à condition que l'on ait démontré, pour un modèle de câble donné, la stabilité de la relation entre des mesures effectuées sur des fibres non câblées et sur des fibres câblées.

Il convient de choisir le déploiement de la fibre ou du câble de manière à minimiser tout couplage de mode induit de l'extérieur. Les sources d'un tel couplage de mode externe peuvent être:

- a) une tension excessive;
- b) une flexion excessive induite par
 - entrecroisements des fibres sur un touret de transport;
 - aplatissement d'une fibre dans un câble sur une bobine de trop petite taille;
 - rayon de courbure trop petit;
- c) torsion excessive.

Il convient d'évaluer la reproductibilité des mesures individuelles après avoir soumis la fibre à des perturbations, pour permettre un échantillonnage de toute la plage de combinaisons de couplages de modes. Pour cela, il est par exemple possible de faire varier légèrement la température ou d'effectuer des petits ajustements dans le déploiement. L'Annexe D fournit des informations sur la comparaison entre les méthodes, basées sur des études d'essai interlaboratoire. Gisin [3] a fait état d'une limite de reproductibilité fondamentale pour des mesures montrant que la reproductibilité augmente proportionnellement à la PMD et à la largeur spectrale de la source. L'Annexe E fournit des informations sur des méthodes permettant d'améliorer la précision.

La CEI 61282-3 contient des directives relatives au calcul de la PMD pour des systèmes comprenant d'autres composants tels que des compensateurs de dispersion ou des amplificateurs optiques. Des méthodes d'essai relatives aux amplificateurs optiques sont données dans la CEI 61280.

4 Appareillage

L'appareillage suivant est commun aux trois méthodes de mesure. Les Annexes A, B et C contiennent des dessins ainsi que d'autres prescriptions nécessaires aux équipements respectivement utilisés dans chacune des trois méthodes.

4.1 Source de lumière et polariseurs

Se reporter aux Annexes A, B et C pour les choix détaillés des caractéristiques spectrales de la source de lumière. La source doit générer un rayonnement suffisant à la ou aux longueurs d'onde prévues et son intensité doit être stable pendant une période suffisamment longue pour effectuer la mesure.

Pour toutes les méthodes, il est nécessaire que la lumière soit polarisée linéairement avant d'être injectée dans la fibre. Utiliser un dispositif de réglage de polarisation pour transformer la lumière de la source et la faire passer à un état à peu près circulaire pour le centre de la gamme de longueurs d'onde utilisée. Utiliser un polariseur pour transformer cette lumière en lumière à polarisation linéaire à un ou plusieurs états. Le polariseur peut faire partie d'un groupe de trois polariseurs orientés à 0°, 45° et 90°. Dans un montage à faisceau ouvert, le réglage de la polarisation peut être effectué au moyen d'une lame à retard. Il est possible de vérifier le montage du dispositif de réglage de la polarisation en mesurant la puissance

3.2 Applicability

PMD in fibre is a statistical parameter. IEC 60794-3 includes a statistical requirement on PMD that is based on sampled measurements of optical fibre cable and calculations for concatenated links. IEC 60793-2-50 includes an optional maximum for individual uncabled fibres for support of cabled results – provided that the relationship of measurements on uncabled fibre and cabled fibre have been demonstrated to be stable for a given cable construction.

The fibre or cable deployment should be selected so externally induced mode-coupling is minimized. Sources of such external mode-coupling can be:

- a) excessive tension;
- b) excessive bending induced from
 - fibre cross-overs on a shipping reel;
 - crimping of fibre within a cable on a spool that is too small;
 - too small a bend radius;
- c) excessive twist.

Reproducibility of individual measurements should be evaluated after perturbing the fibre to allow sampling the full range of mode-coupling combinations. This can be done by, for example, changing the temperature slightly or making small adjustments in the deployment. Annex D includes information on the inter-comparison of the methods based on round-robin studies. Gisin [3] reported a fundamental reproducibility limit for measurements showing that the reproducibility increases as the PMD increases and as the spectral width of the source increases. Annex E includes information on approaches to improving the precision.

Guidelines for the calculation of PMD for systems that include other components such as dispersion compensators or optical amplifiers are given in IEC 61282-3. Test methods for optical amplifiers are given in IEC 61280.

4 Apparatus

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

4.1 Light source and polarizers

See Annexes A, B, and C for detailed options of the spectral characteristics of the light source. The source shall produce sufficient radiation at the intended wavelength(s) and be stable in intensity over a time period sufficient to perform the measurement.

For all methods, the polarization of the light is required to be linearly polarized before it is injected into the fibre. Use a polarization adjuster to transform the source light to a state that is roughly circular for the centre of the wavelength range being used. Use a polarizer to transform this light to linear polarization at one or more states. The polarizer can be one of a set of three oriented at 0°, 45°, and 90°. In an open-beam set-up, a wave plate may perform the polarization adjustment. The polarization adjuster set-up can be verified by measuring the output power at the three linear polarizations. If the output powers are within 3 dB of one another, the adjuster set-up is suitable.

de sortie pour les trois polarisations linéaires. Si les puissances de sortie sont situées à 3 dB les unes des autres, le montage du dispositif de réglage de la polarisation est convenable.

Pour les Méthodes A et B, la largeur spectrale effective de la source, $\Delta\lambda$, doit être suffisamment étroite pour que la lumière provenant de la fibre reste polarisée dans toutes les conditions de mesure. Un degré de polarisation (DOP) de 90 % ou plus est préférable, bien que des mesures puissent être effectuées avec des valeurs aussi faibles que 25 % avec une précision réduite. Pour une valeur donnée du retard de groupe différentiel (DGD), $\Delta\tau$, le degré de polarisation (DOP) le plus faible qui peut en résulter est donné par la relation suivante:

$$DOP(\%) = 100 \exp \left[- \frac{1}{4 \ln(2)} \left(\frac{\pi c \Delta\tau \Delta\lambda}{\lambda_0^2} \right)^2 \right] \quad (4)$$

en supposant une largeur de spectre gaussien (largeur à mi-hauteur) centrée en λ_0 (c étant la vitesse de la lumière dans le vide.)

Pour la Méthode C, le rapport d'extinction du polariseur sur toute la largeur spectrale de la source doit être supérieur à 20 dB.

Pour la Méthode B, l'analyse par états de polarisation (SOP), le contrôleur de polarisation est réglé de manière à optimiser les conditions de détermination de l'angle de rotation de la sphère de Poincaré, si nécessaire, en choisissant un état d'entrée pour lequel la variation des vecteurs de Stokes de sortie en fonction de la longueur d'onde est maximale.

4.2 Optique d'entrée

Il est possible d'utiliser un système de lentilles optiques ou une fibre amorce pour exciter l'échantillon en essai. Il est souhaitable que la puissance couplée à l'échantillon en essai soit relativement insensible à la position de son extrémité d'entrée. Pour cela, il est possible d'utiliser un faisceau d'injection qui sature spatialement et angulairement l'extrémité d'entrée de la fibre.

Si une épissure en bout est utilisée, il est nécessaire d'utiliser une substance adaptatrice d'indice entre la fibre amorce et l'échantillon en essai afin d'éviter les phénomènes d'interférence. La puissance couplée à la fibre doit être stable pendant toute la durée de la mesure.

4.3 Positionneur d'entrée

Prévoir des moyens permettant de positionner l'extrémité d'entrée de l'échantillon en essai par rapport à la source de lumière. On peut, par exemple, utiliser des étages de micropositionneur à trois axes (x-y-z), ou des dispositifs de couplage mécanique tels que des connecteurs, des épissures sous vide, ou des épissures à trois tiges, etc. La position de la fibre doit rester stable pendant toute la durée de l'essai.

4.4 Extracteur de mode de gaine

Utiliser un dispositif qui extrait les modes de gaine. Dans certaines conditions, le revêtement de la fibre remplira cette fonction.

4.5 Filtre de mode d'ordre élevé

Utiliser un moyen permettant d'éliminer des modes de propagation d'ordre élevé dans la gamme de longueur d'onde désirée, qui est supérieure ou égale à la longueur d'onde de coupure de l'échantillon en essai (se reporter à la CEI 60793-1-44). Par exemple, une boucle d'un rayon de 30 mm sur la fibre suffit généralement.

For Methods A and B, the effective spectral width of the source, $\Delta\lambda$, shall be narrow enough so that light emerging from the fibre remains polarized under all conditions of measurement. A degree of polarization (DOP) of 90 % or greater is preferred, although measurements may be performed with values as low as 25 % with reduced precision. For a given value of DGD, $\Delta\tau$, the lowest DOP which can result is given by

$$DOP(\%) = 100 \exp \left[-\frac{1}{4 \ln(2)} \left(\frac{\pi c \Delta\tau \Delta\lambda}{\lambda_0^2} \right)^2 \right] \quad (4)$$

assuming a Gaussian spectrum width (full-width half-max) centred at λ_0 (c is the speed of light in vacuum.)

For Method C, the polarizer extinction ratio over the source spectral width shall be >20 dB.

For Method B, the SOP approach, the polarization controller is set to optimize the conditions for the determination of the rotation angle on the Poincaré sphere, if necessary, by selecting an input state for which the variation in the output Stokes vectors with wavelength is maximal.

4.2 Input optics

An optical lens system or fibre pigtail may be employed to excite the specimen. It is recommended that the power coupled into the specimen be relatively insensitive to the position of its input end face. This can be accomplished by using a launch beam that spatially and angularly overfills the input end face.

If using a butt splice, employ index-matching material between the fibre pigtail and the specimen to avoid interference effects. The coupling shall be stable for the duration of the measurement.

4.3 Input positioner

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

4.4 Cladding mode stripper

Use a device that extracts cladding modes. In some circumstances, the fibre coating will perform this function.

4.5 High-order mode filter

Use a means to remove high-order propagating modes in the desired wavelength range that is greater than, or equal to, the cut-off wavelength (see IEC 60793-1-44) of the specimen. For example, a one-turn bend of radius = 30 mm on the fibre is generally sufficient.

4.6 Positionneur de sortie

Prévoir un moyen adapté pour aligner l'extrémité de la fibre par rapport à l'optique de sortie. Un tel couplage peut inclure l'utilisation de lentilles, ou il peut s'agir d'un connecteur mécanique couplé à une fibre amorce de détecteur.

Prévoir un moyen, tel qu'un microscope à vision latérale ou une caméra munie d'un réticule, pour placer la fibre à une distance fixe par rapport à l'optique de sortie. Cela peut suffire à assurer seulement un ajustement longitudinal si la fibre est maintenue dans le plan latéral par un dispositif tel qu'une plaque à succion.

4.7 Optique de sortie

Se reporter à l'Annexe A, B ou C, selon le cas.

4.8 Détecteur

Pour la détection de signal, on utilise un détecteur optique linéaire et stable sur la gamme des intensités et des durées de mesure rencontrées en effectuant la mesure. Un système type pourrait être constitué d'une détection synchrone par un amplificateur verrouillé à découpage, un wattmètre optique, un analyseur de spectre optique ou un polarimètre. Pour utiliser l'ensemble de la gamme spectrale de la source, il faut que le système de détection ait une gamme de longueurs d'onde qui couvre les longueurs d'onde produites par la source de lumière. Pour plus de détails, se reporter à l'Annexe A, B ou C, selon le cas.

4.9 Calculateur

Utiliser un calculateur pour effectuer des opérations telles que la commande de l'appareillage, les mesures d'intensité et le traitement des données pour obtenir les résultats finaux.

5 Echantillonnage et échantillons en essai

Un échantillon en essai est constitué d'une longueur connue de fibre optique unimodale (CEI 60793-2-50) qui peut être câblée ou non. L'échantillon et les fibres amorces doivent être fixés en position à une température ambiante constante pendant toute la durée de la mesure. Sauf spécification contraire, des conditions ambiantes normales doivent être employées. Dans le cas de fibres et câbles installés, on peut utiliser les conditions de déploiement courantes.

On peut observer la stabilité mécanique et thermique du dispositif d'essai en utilisant les procédures qui suivent. Pour la Méthode A, la puissance de sortie provenant de la fibre à une longueur d'onde fixe est mesurée avec l'analyseur de sortie en place. Pendant une période correspondant à une mesure type complète, il convient que la variation de la puissance de sortie soit faible par rapport aux variations produites par une modification de la longueur d'onde. Pour la Méthode B, on visualise l'état de polarisation de sortie de la fibre en essai sur l'affichage d'une sphère de Poincaré. Pendant une période correspondant à une paire adjacente de mesures de matrice de Jones, il convient que la variation de la polarisation de sortie soit faible par rapport à la variation produite par une modification de la longueur d'onde. La Méthode C est normalement efficace par rapport à une légère variation de la température ou à de légers déplacements de la fibre.

Les extrémités de sortie d'entrée et de sortie de l'échantillon en essai doivent être préparées comme il se doit, conformément aux prescriptions applicables à l'appareillage et à la procédure. Des précautions doivent être prises pour éviter tout problème de réflexion.

4.6 Output positioner

Provide a suitable means for aligning the fibre output end face to the output optics. Such coupling may include the use of lenses or may be a mechanical connector to a detector pigtail.

Provide means such as a side-viewing microscope or camera with a cross-hair to locate the fibre at a fixed distance from the output optics. It may be sufficient to provide only longitudinal adjustment if the fibre is constrained in the lateral plane by a device such as a vacuum chuck.

4.7 Output optics

See Annex A, B, or C, as appropriate.

4.8 Detector

For signal detection, an optical detector is used which is linear and stable over the range of intensities and measurement times that are encountered in performing the measurement. A typical system might include synchronous detection by a chopper/lock-in amplifier, an optical power meter, optical spectrum analyser, or a polarimeter. To use the entire spectral range of the source, the detection system must have a wavelength range which includes the wavelengths produced by the light source. See Annex A, B, or C, as appropriate, for additional details.

4.9 Computer

Use a computer to perform operations such as controlling the apparatus, taking intensity measurements, and processing the data to obtain the final results.

5 Sampling and specimens

A specimen is a known length of single-mode optical fibre (IEC 60793-2-50) which may or may not be cabled. The sample and pigtails must be fixed in position at a nominally constant temperature throughout the measurement. Standard ambient conditions shall be employed unless otherwise specified. In the case of installed fibres and cables, prevailing deployment conditions may be used.

Mechanical and temperature stability of the test device may be observed by the following procedures. For Method A, the output power from the fibre at a fixed wavelength is measured with the output analyser in place. In a time period corresponding to a typical complete measurement, the output power change should be small relative to the changes produced by a wavelength increment. For Method B, the output state of polarization of the test fibre on a Poincaré sphere display is viewed. In a time period corresponding to an adjacent pair of Jones matrix measurements, the output polarization change should be small relative to the change produced by a wavelength increment. Method C is normally robust with regard to slight temperature change or fibre movements.

End faces for the input and output ends of the test sample must be prepared as appropriate for the requirements of the apparatus and procedure. Precautions shall be taken to avoid any reflections.

5.1 Longueur des échantillons en essai

La longueur des échantillons en essai dépend de trois facteurs:

- a) le coefficient de PMD minimal prescrit;
- b) le régime de couplage de mode;
- c) le rapport signal à bruit.

Chaque méthode et procédure d'essai sont limitées à une valeur minimale de PMD (ps) qui peut être mesurée. Dans un grand nombre de cas, cette valeur minimale peut être déterminée sur une base théorique. Elle peut être également déterminée expérimentalement par l'analyse de la distribution mesurée. Pour des fibres en régime de couplage de mode élevé, le coefficient de PMD minimal est déterminé en divisant la valeur de PMD par la racine carrée de la longueur de la fibre (km). Dans le cas d'un couplage de mode négligeable, on divise par la longueur. La longueur mesurée et la valeur de PMD minimale mesurable détermineront alors le coefficient de PMD minimal mesurable. Pour effectuer la mesure, on peut choisir des fibres ou des câbles ayant des longueurs suffisantes pour permettre d'atteindre ce minimum. En variante, on peut couper les échantillons en essai à une longueur satisfaisante. La valeur de PMD minimale mesurable doit être documentée. La longueur de chaque échantillon en essai doit être notée.

NOTE La longueur peut être également limitée par la méthode de déploiement (se reporter à 5.2) et par la gamme dynamique de l'appareil de mesure.

Les valeurs spécifiées dans la CEI 60794-3 et la CEI 60793-1-50 expriment le coefficient de PMD en ps/√km – en effet, ces documents supposent que la longueur mesurée suffit à induire le régime de couplage de mode aléatoire. Pour un type donné de fibre ou un modèle donné de câble, il est possible de confirmer cela en expérimentant la technique de mesure à fibre coupée qui consiste à couper l'échantillon entre les mesures et à déterminer la valeur de PMD à chaque longueur de l'échantillon. Les longueurs de fibres, au-dessus desquelles la valeur de PMD dépend de la racine carrée de la longueur, peuvent être considérées comme des longueurs à couplage de mode aléatoire. L'Annexe H fournit des informations supplémentaires sur la confirmation des hypothèses relatives au couplage de mode aléatoire.

La gamme dynamique est limitée par la méthode, la puissance de la source et l'affaiblissement global de l'échantillon en essai, qui est affecté par la longueur. En général, cette limite doit être déterminée sur la base de mises en œuvre spécifiques par des moyens expérimentaux. Cette limite doit être documentée.

5.2 Déploiement

Le déploiement de la fibre ou du câble peut influencer le résultat. Pour des mesures normales destinées à évaluer la conformité à la spécification, les prescriptions suivantes s'appliquent.

5.2.1 Fibre non câblée

Il est nécessaire de maintenir la fibre à une tension minimale, soit en l'enroulant de manière lâche autour d'une bobine ayant une surface lisse, soit en la déployant en boucles sur une surface lisse et plane (lissage au moins équivalent à celui d'un papier de qualité 88 g/m²)

Dans les deux cas, la fibre doit être déployée de telle sorte qu'elle ne repasse pas sur elle-même et qu'elle présente des rayons de courbure supérieurs à 15 cm. Certaines fibres amorces sur lesquelles la fibre est raccordée doivent aussi avoir des rayons de courbures supérieurs à 15 cm.

Pour les mesures les plus précises des échantillons avec une faible PMD, utiliser la méthode d'évaluation des paramètres de Stokes. Pour la fibre et le câble optique, les mesures de PMD ont une variabilité inhérente aux échantillons, laquelle augmente quand la valeur de PMD diminue ou quand la fenêtre de la longueur d'onde qui est échantillonnée diminue [3].

5.1 Specimen length

The specimen length is dictated by three factors:

- a) minimum desired PMD coefficient;
- b) mode-coupling regime;
- c) signal-to-noise ratio.

Each test method and implementation is limited to a minimum PMD value (ps) that can be measured. In many cases, this minimum can be determined on the basis of theory. It can also be determined experimentally by examining the measured distribution. For fibres in the high mode-coupling regime, the minimum PMD coefficient is determined by dividing the PMD value by the square root of the fibre length (km). For the negligible mode-coupling case, the division is by the length. The length that is measured and the minimum measurable PMD value will therefore determine the minimum measurable PMD coefficient. Fibres or cables with lengths sufficient to achieve this minimum can be selected for measurement. Alternatively, specimens can be cut to a length that is satisfactory. The minimum measurable PMD value shall be documented. The length of the individual specimens shall be recorded.

NOTE The length may also be limited by the deployment method (see 5.2) and instrument dynamic range.

The values specified in IEC 60794-3 and IEC 60793-1-50 express the PMD coefficient in terms of ps/√km – in effect, these documents assume that the length measured is sufficient to induce the randomly mode-coupled regime. For a given fibre type or cable construction, this can be confirmed by doing a cut-back experiment in which the PMD value is measured on a specimen at each of several lengths – achieved by cutting the specimen back between measurements. Lengths above which there is a square-root dependence of the PMD value on length may be considered as randomly mode-coupled. Annex H provides additional information on the confirmation of the randomly mode-coupled assumptions.

The dynamic range is limited by the method, the source power, and the overall loss of the specimen, which is affected by length. This limit must generally be determined on the basis of specific implementations by experimental means. This limit shall be documented.

5.2 Deployment

The deployment of the fibre or cable can influence the result. For normal measurements to be used in specification conformance evaluation, the following requirements apply.

5.2.1 Uncabled fibre

The fibre shall be kept at minimal tension either by loosely wrapping it on a spool with a smooth surface or by deploying in loops on a flat smooth surface (smoothness equivalent or better than paper of grade 88 g/m²).

In either case, the fibre shall be deployed without crossing over itself and with bend radii in excess of 15 cm. Any pigtails to which the fibre is connected shall also have bend radii in excess of 15 cm.

For the most accurate measurements of specimens with low PMD, use the Stokes parameter evaluation method. For optical fibre and cable, PMD measurements have an inherent sampling variability that increases as the PMD value decreases or as the wavelength window that is sampled in the measurement decreases [3]. When PMD measurements are combined

Si les mesures de PMD sont combinées pour évaluer la spécification statistique du câble à fibre optique (se reporter à la CEI 60794-3), cette variabilité donne une possible exagération de la valeur de conception de liaison (PMD_Q). Pour des expériences dans lesquelles des valeurs précises de PMD sont nécessaires, les procédures de l'Annexe E sont recommandées. Cette annexe appelle à des essais complémentaires à la suite des perturbations multiples des échantillons individuels.

NOTE Il est possible d'utiliser d'autres types de déploiement, s'il est démontré que ces déploiements peuvent être appliqués aux valeurs mesurées sur des fibres câblées ou à d'autres conditions de déploiement.

5.2.2 Câble optique

Il est possible que les mesures de PMD sur des fibres contenues dans des câbles enroulés autour de bobines d'expédition ne reflètent pas toujours les valeurs de PMD fonctionnellement pertinentes pour des fibres se trouvant dans la configuration de déploiement de câbles installés. Par conséquent, pour démontrer la conformité à la spécification concernant la PMD d'une fibre câblée, il est possible d'utiliser d'autres configurations de déploiement ou d'autres fonctions de nappage permettant d'établir un lien entre la valeur de PMD sur bobine et la valeur de PMD hors bobine. La configuration exacte du déploiement doit être convenue entre le fournisseur et le client.

6 Procédure

- 6.1 Déployer la fibre ou le câble et préparer les extrémités.
- 6.2 Fixer les extrémités à l'optique d'entrée et à l'optique de sortie.
- 6.3 Utiliser le calculateur pour effectuer les analyses et les mesures indiquées dans les Annexes A, B et C pour les trois méthodes de mesure.
- 6.4 Remplir les documents.

7 Calcul ou interprétation des résultats

Les Equations (1) et (2) permettent de calculer le coefficient de PMD à partir de la valeur de PMD mesurée. Le paragraphe 5.1 et l'Annexe H fournissent des informations permettant de déterminer la formule qu'il faut utiliser. Pour une fibre ou un câble d'une longueur supérieure à 1 km, on observe normalement un couplage de mode aléatoire.

Les Annexes A, B et C contiennent des calculs permettant de convertir les données mesurées en valeurs de PMD.

La CEI 60794-3 et la CEI 61282-3 contiennent des calculs permettant de déterminer la valeur de conception de liaison, PMD_Q, le retard de groupe différentiel maximal, DGD_{max} et la probabilité de le dépasser, P_F. La CEI 61282-3 contient également des calculs permettant de combiner ces valeurs avec les valeurs de PMD d'autres éléments du réseau.

8 Documentation

8.1 Informations requises pour chaque mesure

- a) Identification de l'échantillon en essai
- b) Date de l'essai
- c) Longueur de l'échantillon en essai
- d) Coefficient de PMD et ses unités (ps/√km ou ps/km)
- e) Zone de la longueur d'onde (exemple: 1 300 nm ou 1 550 nm)

to evaluate the statistical specification of optical fibre cable (see IEC 60794-3), this variability leads to a possible overstatement of the link design value (PMD_Q). For experiments in which precise PMD values are needed, the procedures of Annex E are recommended. This annex calls for retests following multiple perturbations of the individual specimens.

NOTE Alternative deployments may be used if applicability to values measured on cabled fibres or other deployment conditions are demonstrated.

5.2.2 Optical fibre cable

PMD measurements on fibres in cables wound on shipping drums may not always reflect the functionally relevant PMD values for fibres in the installed cable deployment configuration. Consequently, to demonstrate compliance with the cabled-fibre PMD specification, alternative deployment configurations or mapping functions relating on-drum PMD value to off-drum PMD value may be used. The exact deployment configuration shall be agreed upon between the supplier and the customer.

6 Procedure

- 6.1 Deploy the fibre or cable and prepare the ends.
- 6.2 Attach the ends to the input and output optics
- 6.3 Engage the computer to complete the scans and measurements found in Annexes A, B, and C for the three measurement methods.
- 6.4 Complete documentation.

7 Calculation or interpretation of results

Equations (1) and (2) provide the calculation of the PMD coefficient from the PMD value that is measured. Subclause 5.1 and Annex H provide information on how to determine which formula to use. For fibre and cable in excess of 1 km, random mode-coupling is normally observed.

Annexes A, B, and C provide calculations to convert the measured data into PMD values.

IEC 60794-3 and IEC 61282-3 provide calculations for computing the link design value, PMD_Q, the maximum differential group delay DGD_{max} and the probability of exceeding it, P_F . IEC 61282-3 also provides calculations to combine these values with the PMD values of other network elements.

8 Documentation

8.1 Information required for each measurement

- a) Specimen identification
- b) Testing date
- c) Specimen length
- d) PMD coefficient and its units (ps/√km or ps/km)
- e) Wavelength region (for example, 1 300 nm or 1 550 nm)

8.2 Informations nécessairement disponibles

- a) Méthode de mesure utilisée
- b) Méthode de calcul utilisée
- c) Description de la méthode de déploiement (y compris tout mécanisme de soutien de la fibre)
- d) Gamme de longueur d'onde
- e) Pour les Méthodes A et B, le nombre de longueurs d'onde échantillonnées
- f) Pour la Méthode C, le type de détection des franges
- g) Description de l'équipement
- h) Date du dernier étalonnage
- i) Preuve à l'appui du régime de couplage de mode (indiqué par les unités du coefficient de PMD)
- j) Pour la Méthode B employant une source à bande étroite, la résolution de la gamme de longueurs d'onde et le nombre de longueurs d'onde
- k) Pour la Méthode B employant une source à large bande, la longueur d'onde centrale et la largeur de raie à -3 dB

9 Informations relatives à la spécification

- a) Type de fibre ou de câble
- b) Critères de rejet ou d'acceptation
- c) Zone de longueur d'onde
- d) Tout écart par rapport à cette procédure

WITOLDAM

8.2 Information to be available

- a) Measurement method used
- b) Calculation approach used
- c) Description of the deployment method (including any fibre support mechanism)
- d) Wavelength range
- e) For Methods A and B, the number of wavelengths sampled
- f) For Method C, the type of fringe-detection technique
- g) Description of the equipment
- h) Date of latest calibration
- i) Evidence supporting the mode-coupling regime (indicated by units of the PMD coefficient)
- j) For Method B with narrowband source, the wavelength range, resolution and number of wavelengths
- k) For Method B with broadband source, the centre wavelength and –3 dB linewidth

9 Specification information

- a) Type of fibre or cable
- b) Failure or acceptance criteria
- c) Wavelength region
- d) Any deviations from this procedure

Withdrawing

Annexe A (normative)

Méthode de mesure par analyseur fixe

Cette annexe contient les prescriptions spécifiques à la Méthode A.

A.1 Appareillage

La Figure A.1 illustre les schémas fonctionnels possibles.

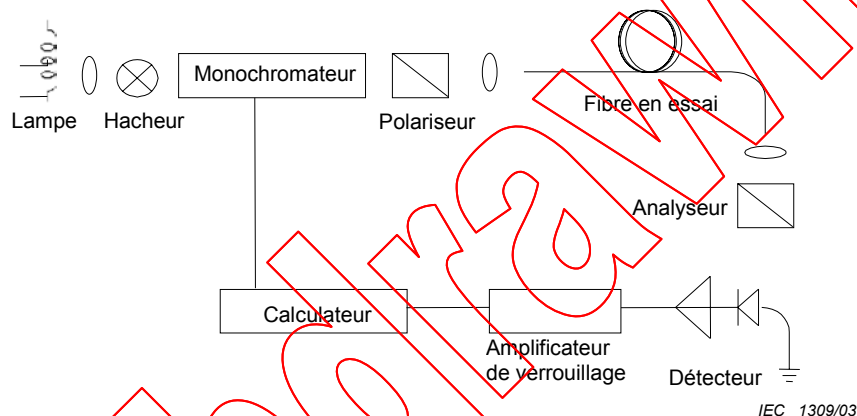


Figure A.1a – Source à bande étroite

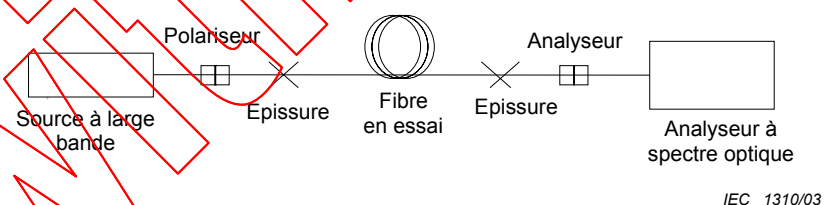


Figure A.1b – Source à large bande

Figure A.1 – Schémas relatifs à l'analyseur fixe

A.1.1 Source de lumière

Dans tous les cas, il est possible d'utiliser deux types de sources de lumière, selon le type d'analyseur. Il est possible d'utiliser une source à bande étroite telle que la combinaison d'une lampe à large bande et d'un monochromateur illustrée dans la Figure A.1a associée à un analyseur de polarisation. Il est possible d'utiliser la source à large bande illustrée dans la Figure A.1b avec un analyseur à filtre passe-bande étroit tel qu'un analyseur de spectre optique ou un interféromètre utilisé comme un analyseur de spectre par la transformée de Fourier placé avant l'analyseur. Dans le cas d'une source à large bande, on prendra comme largeur spectrale la largeur du filtre, pour les besoins des calculs.

Annex A (normative)

Fixed analyser measurement method

This annex contains requirements specific to Method A.

A.1 Apparatus

Figure A.1 shows possible block diagrams.

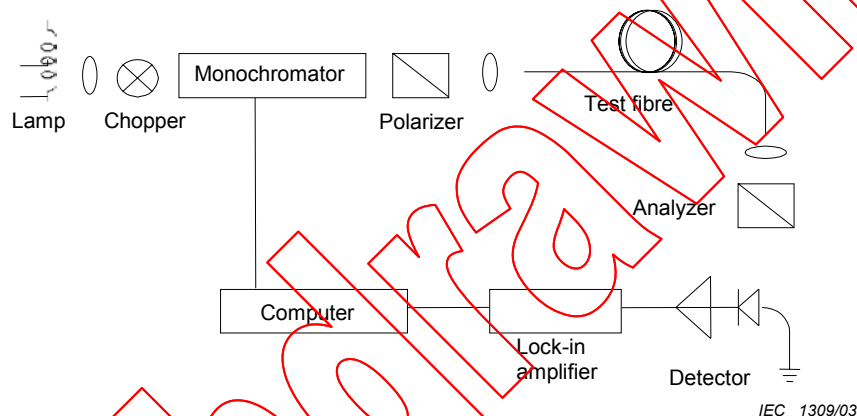


Figure A.1a – Narrowband source

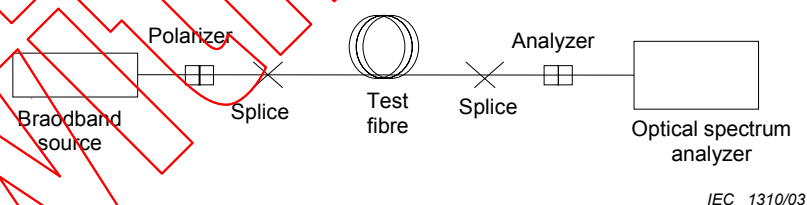


Figure A.1b – Broadband source

Figure A.1 – Block diagrams for fixed analyser

A.1.1 Light source

In all cases, two kinds of light sources may be used, depending on the type of analyser. A narrowband source, such as the broadband lamp and monochromator combination shown in Figure A.1a, can be used with a polarization analyser. A broadband source as shown in Figure A.1b can be used with a narrow bandpass filtering analyser such as an optical spectrum analyser or an interferometer used as a Fourier transform spectrum analyser placed before the analyser. In the case of a broadband source, the width of the filter is taken as the spectral width for the purpose of calculations.

In both cases, the spectral width shall be sufficiently small to maintain the desired degree of polarization (see 4.1). In both cases, the range of wavelengths shall be sufficient to provide a PMD measurement of sufficient precision at the specified wavelength region (see Clause A.3).

Dans les deux cas, la largeur spectrale doit être suffisamment faible pour maintenir le degré de polarisation prescrit (se reporter à 4.1). Dans les deux cas, la gamme de longueurs d'ondes doit être suffisamment étendue pour permettre de mesurer la PMD avec une précision suffisante dans la zone de longueur d'onde spécifiée (se reporter à l'Article A.3).

Pour que toutes les caractéristiques dans le spectre optique aient une résolution adéquate, il convient que la largeur spectrale soit comme suit:

$$\Delta\lambda / \lambda_0 < (8\nu\Delta\tau_{\max})^{-1} \quad (\text{A.1})$$

où

$\nu = c/\lambda$ est la fréquence optique;

$\Delta\lambda$ est la largeur spectrale;

$\Delta\tau_{\max}$ est le retard de groupe différentiel (DGD) maximal prévu.

Pour une longueur d'onde λ voisine de 1 550 nm, l'Equation (A.1) se ramène à la condition où il convient que $\Delta\lambda$ (nm) soit inférieure à la réciproque de $\Delta\tau$ (ps).

A.1.2 Analyseur

L'orientation angulaire de l'analyseur n'est pas critique, mais il est souhaitable qu'elle reste fixe pendant toute la durée de la mesure. Avec un couplage de mode négligeable ou de faibles valeurs de PMD, un réglage fin de l'analyseur peut s'avérer utile pour maximiser l'amplitude des oscillations illustrées à la Figure A.2 – on peut également y parvenir par rotation de la fibre au niveau des épissures ou des connecteurs.

NOTE Il est possible de remplacer l'analyseur par un polarimètre.

A.2 Procédure

A.2.1 Gamme de longueurs d'onde et modification de longueur d'onde

La procédure consiste à mesurer la puissance en fonction des longueurs d'onde (ou des fréquences optiques) sur l'étendue d'une gamme à un incrément de longueur d'onde défini une fois avec l'analyseur dans le trajet optique et une fois sans l'analyseur dans le trajet optique. La gamme de longueurs d'onde peut influencer la précision du résultat (se reporter à l'Article A.3). Il convient de choisir l'incrément de longueur d'onde de manière à satisfaire l'Equation A.1, sachant que l'incrément de longueur d'onde remplace $\Delta\lambda$.

Si la méthode de transformée de Fourier est utilisée, il convient que la taille d'échelon soit uniforme dans le domaine fréquentiel optique et que le nombre d'échelons soit une puissance de 2. La taille d'échelon du monochromateur, exprimée dans le domaine fréquentiel optique, $\delta\nu$, doit être inférieure d'un facteur deux à la «fréquence d'oscillation» correspondant au retard de groupe différentiel (DGD) maximal mesuré. En raison de la grande quantité de puissance à l'extérieur du moment d'ordre deux pour les fibres à couplage de mode aléatoire, il est nécessaire que la condition de Nyquist soit égale à au moins trois fois la fréquence du moment d'ordre deux pour le retard de groupe différentiel (DGD) maximal prévu. A savoir:

$$\frac{1}{6\delta\nu} > \Delta\tau_{\max} \quad (\text{A.2})$$

NOTE 1 Si, à partir de la transformée de Fourier, il semble évident qu'une quantité importante d'énergie est présente au voisinage de $\Delta\tau_{\max}$, il convient de réduire l'incrément et de répéter la mesure.

NOTE 2 La largeur spectrale de la source est généralement égale ou inférieure au plus petit incrément de longueur d'onde. Par exemple, pour $\Delta\tau_{\max} = 0,67$ ps, une largeur spectrale du monochromateur de 2 nm à 1 550 nm ($\delta\nu = 249$ GHz) est une valeur typique.

To insure that all features in the optical spectrum are adequately resolved, the spectral width should satisfy

$$\Delta\lambda / \lambda_0 < (8\nu\Delta\tau_{\max})^{-1} \quad (\text{A.1})$$

where

$\nu = c/\lambda$ is the optical frequency;

$\Delta\lambda$ is the spectral width;

$\Delta\tau_{\max}$ is the maximum anticipated DGD.

For λ in the vicinity of 1 550 nm, Equation (A.1) reduces to the condition that $\Delta\lambda$ (nm) should be less than the reciprocal of $\Delta\tau$ (ps).

A.1.2 Analyser

The angular orientation of the analyser is not critical but should remain fixed throughout the measurement. With negligible mode-coupling or low PMD values, some adjustment of the analyser may be helpful in maximizing the amplitude of the oscillations in Figure A.2 – which can also be achieved by rotating the fibre at splices or connectors.

NOTE The analyser can be replaced by a polarimeter.

A.2 Procedure

A.2.1 Wavelength range and increment

The procedure requires measuring the power as a function of wavelengths (or optical frequencies) over a range at a defined wavelength increment once with the analyser in the optical path and once without. The wavelength range can influence the precision of the result (see Clause A.3). The wavelength increment should be selected to satisfy Equation (A.1), with the wavelength increment replacing $\Delta\lambda$.

If the Fourier transform method is used, the step size should ideally be uniform in optical frequency and the number of steps should be a power of 2. The monochromator step-size, expressed in optical frequency, $\delta\nu$, must be a factor of two smaller than the “oscillation frequency” corresponding to the maximum DGD measured. Because of the large amount of power outside the second moment for randomly mode-coupled fibres, the Nyquist condition must be at least three times the frequency of the second moment for the maximum anticipated DGD. That is:

$$\frac{1}{6\delta\nu} > \Delta\tau_{\max} \quad (\text{A.2})$$

NOTE 1 If, from the Fourier transform, it is evident that there is significant energy near $\Delta\tau_{\max}$, the measurement should be repeated with a reduced increment.

NOTE 2 The source spectral width is generally equal to, or less than, the smallest wavelength increment. For example, for $\Delta\tau_{\max} = 0,67$ ps, a monochromator spectral width of 2 nm at 1 550 nm ($\delta\nu = 249$ GHz) is typical.

A.2.2 Balayages

Effectuer un balayage avec l'analyseur installé dans le trajet optique. Enregistrer la puissance reçue en la désignant par $P_A(\lambda)$.

Retirer l'analyseur du trajet optique et répéter le balayage. Enregistrer la puissance reçue en la désignant par $P_{Tot}(\lambda)$.

Calculer le rapport de puissance, $R(\lambda)$, comme suit. La Figure A.2 montre un exemple de résultats de couplage de mode à la fois négligeable et aléatoire.

$$R(\lambda) = \frac{P_A(\lambda)}{P_{Tot}(\lambda)} \quad (A.3)$$

Il existe une autre procédure qui consiste à laisser l'analyseur en place lors du second balayage, mais à lui faire subir une rotation de 90°. Enregistrer la puissance en la désignant par $P_B(\lambda)$. La formule relative au rapport de puissance s'exprime alors comme suit:

$$R(\lambda) = \frac{P_A(\lambda)}{P_A(\lambda) + P_B(\lambda)} \quad (A.4)$$

NOTE 1 Le rapport P_A/P_B pourrait être également utilisé si on utilise le comptage d'extrema.

NOTE 2 Si un polarimètre est utilisé comme élément de détection, les paramètres de Stokes normalisés sont mesurés en fonction de la longueur d'onde. Les trois fonctions spectrales (une par élément de vecteur) sont indépendantes de la puissance reçue et elles correspondent aux trois fonctions indépendantes de rapports de puissance qui peuvent être analysées de la même manière.

A.2.2 Complete the scans

Complete the scan with the analyser in the light path. Record the received power as $P_A(\lambda)$.

Remove the analyser from the light path and repeat the scan. Record the received power as $P_{\text{Tot}}(\lambda)$.

Calculate the power ratio, $R(\lambda)$ as follows. Figure A.2 shows an example of both negligibly and randomly mode-coupled results.

$$R(\lambda) = \frac{P_A(\lambda)}{P_{\text{Tot}}(\lambda)} \quad (\text{A.3})$$

An alternative procedure is to leave the analyser in place on the second scan but rotate it 90° . Record the power as $P_B(\lambda)$. The formula for the power ratio is then:

$$R(\lambda) = \frac{P_A(\lambda)}{P_A(\lambda) + P_B(\lambda)} \quad (\text{A.4})$$

NOTE 1 The ratio, P_A/P_B , could also be used when extrema counting is used.

NOTE 2 If a polarimeter is used as the detection element, the normalized Stokes parameters are measured versus wavelength. The three spectral functions (one per vector element) are independent of received power and correspond to three independent power ratio functions that can be analysed in the same way.

Withholding

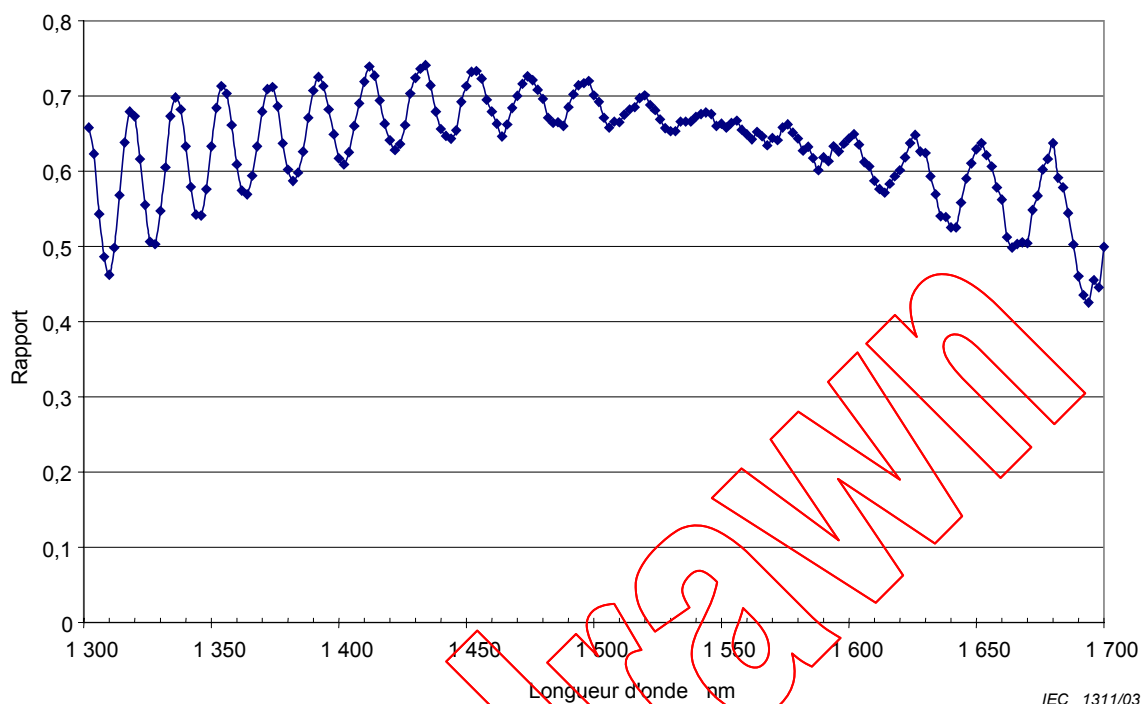


Figure A.2a – Résultats d'analyseur fixe pour un échantillon à couplage de mode négligeable

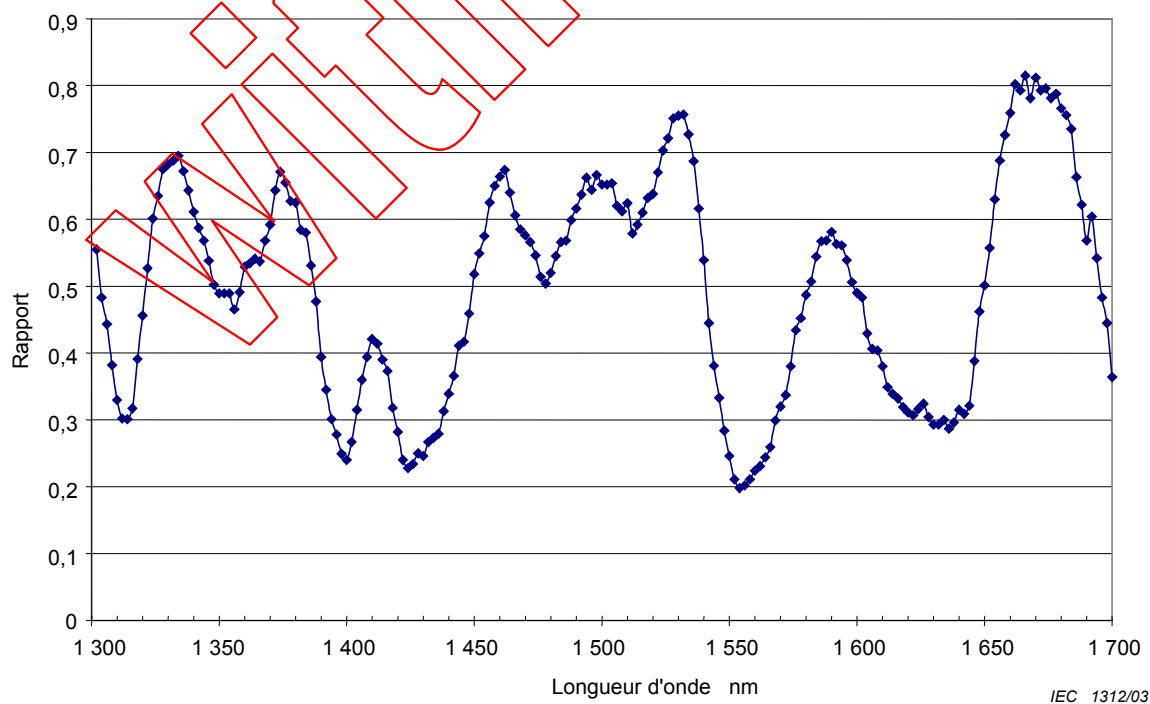


Figure A.2b – Résultats d'analyseur fixe pour un échantillon à couplage de mode aléatoire

Figure A.2 – Exemple de fonction R pour la méthode à analyseur fixe

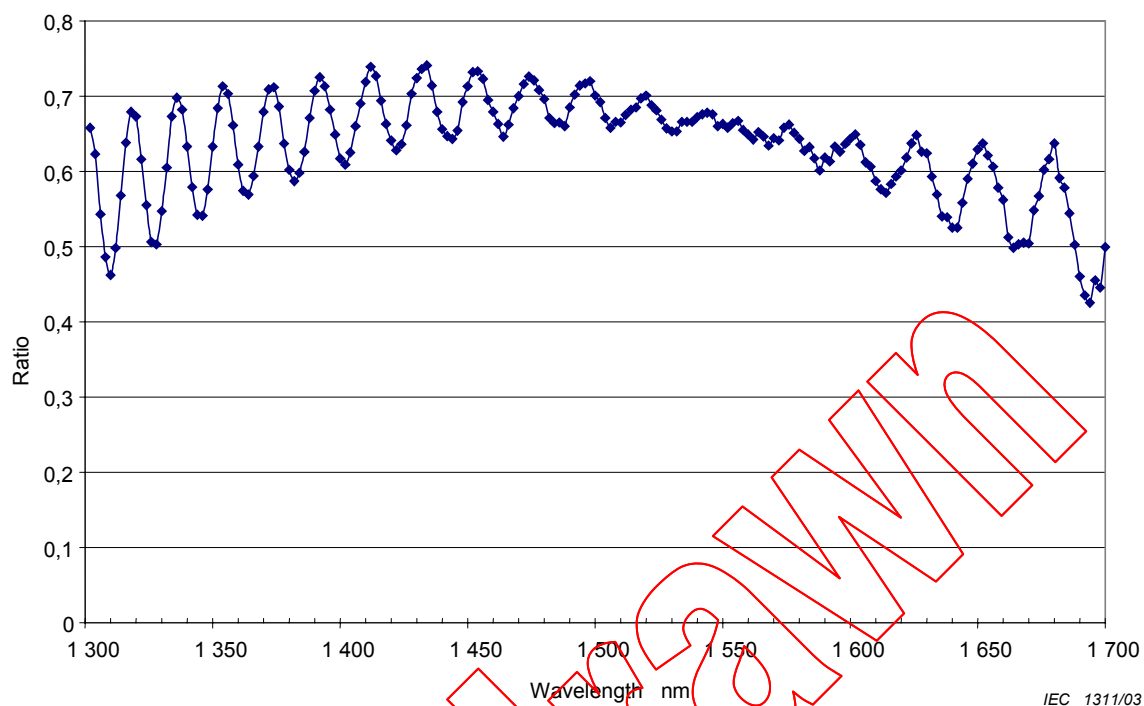


Figure A.2a – Fixed analyzer results for a negligible mode-coupled sample

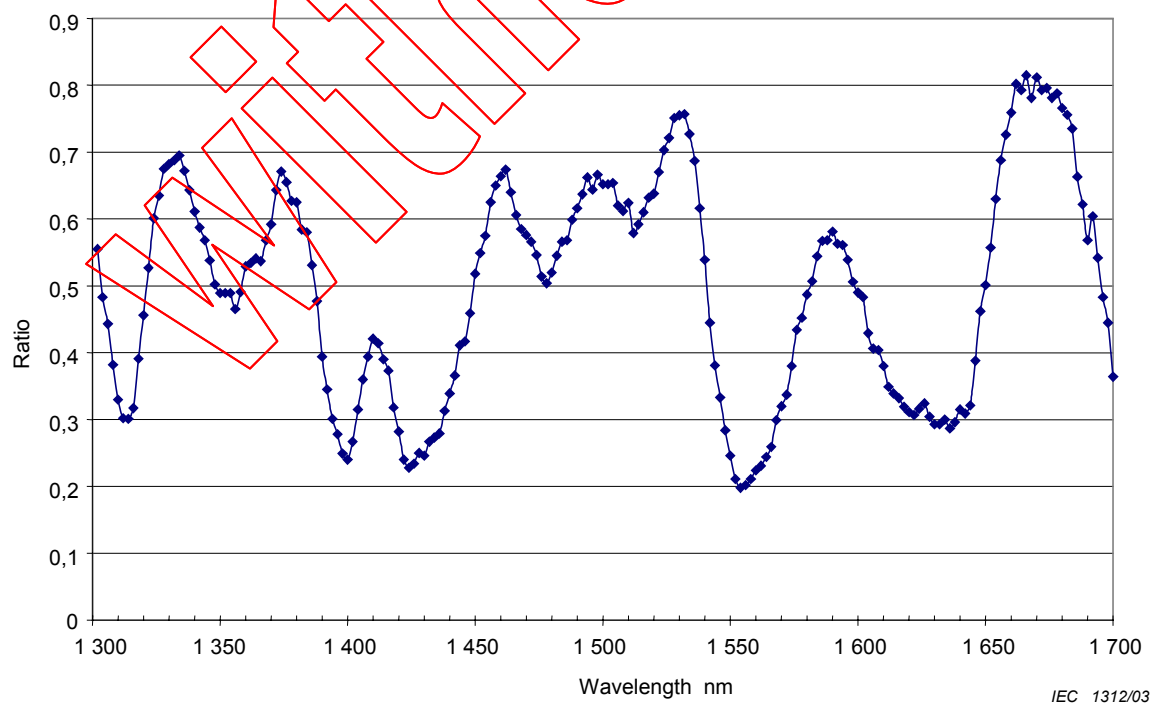


Figure A.2b – Fixed analyzer results for a randomly mode-coupled sample

Figure A.2 – Examples of the R-function for the fixed analyser method