

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60793-1-41**

Deuxième édition  
Second edition  
2003-04

---

---

**Fibres optiques –**

**Partie 1-41:  
Méthodes de mesure et procédures d'essai –  
Largeur de bande**

**Optical fibres –**

**Part 1-41:  
Measurement methods and test procedures –  
Bandwidth**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60793-1-41:2003

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

## Publication numbering

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

## Consolidated editions

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

## Further information on IEC publications

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

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

The on-line catalogue on the IEC web site ([http://www.iec.ch/searchpub/cur\\_fut.htm](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](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](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD

CEI  
IEC

60793-1-41

Deuxième édition  
Second edition  
2003-04

---

---

**Fibres optiques –**

**Partie 1-41:  
Méthodes de mesure et procédures d'essai –  
Largeur de bande**

**Optical fibres –**

**Part 1-41:  
Measurement methods and test procedures –  
Bandwidth**

© 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 Varembe, 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

U

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

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	4
1 Domaine d'application .....	8
2 Références normatives .....	8
3 Définitions .....	10
4 Appareillage .....	10
4.1 Source de rayonnements .....	10
4.2 Système d'injection .....	12
4.3 Système de détection .....	14
4.4 Système d'enregistrement .....	16
4.5 Equipement de calcul .....	16
4.6 Performance du système global .....	16
5 Echantillonnage et échantillons à l'essai .....	16
5.1 Echantillon en essai .....	16
5.2 Echantillon de référence .....	18
5.3 Préparation des extrémités .....	18
5.4 Conditionnement de l'échantillon en essai .....	18
5.5 Positionnement de l'échantillon en essai .....	18
6 Procédure .....	18
6.1 Méthode A – Mesure de l'impulsion d'entrée par la méthode de distorsion d'impulsion (domaine temporel optique) .....	18
6.2 Méthode B – Méthode de mesure dans le domaine fréquentiel .....	20
7 Calculs ou interprétation des résultats .....	22
7.1 Fréquence -3 dB, $f_{3dB}$ .....	22
7.2 Calculs pour les méthodes de présentation optionnelles .....	22
8 Normalisation de la longueur .....	22
9 Résultats .....	22
9.1 Informations à fournir pour chaque essai .....	22
9.2 Informations à fournir sur demande .....	24
10 Information à mentionner dans la spécification .....	24
 Annexe A (normative) Facteur de dispersion intramodale et limite de dispersion intermodale normalisée .....	 26
Annexe B (normative) Fonction de transfert de fibre, $H(f)$ .....	34
Annexe C (normative) Calculs pour d'autres méthodes de présentation .....	36
Annexe D (informative) Comparaison entre cette méthode d'essai et les prescriptions de l'UIT .....	 38
Annexe E (informative) Prescriptions d'embrouilleur de modes pour les conditions d'injection saturées sur les fibres multimodales .....	 40
 Bibliographie .....	 52

## CONTENTS

FOREWORD .....	5
1 Scope .....	9
2 Normative references .....	9
3 Definition .....	11
4 Apparatus .....	11
4.1 Radiation source .....	11
4.2 Launch system .....	13
4.3 Detection system .....	15
4.4 Recording system .....	17
4.5 Computational equipment .....	17
4.6 Overall system performance .....	17
5 Sampling and specimens .....	17
5.1 Test sample .....	17
5.2 Reference sample .....	19
5.3 End preparation .....	19
5.4 Test sample packaging .....	19
5.5 Test sample positioning .....	19
6 Procedure .....	19
6.1 Method A – Pulse distortion method (optical time domain) input pulse measurement .....	19
6.2 Method B – Frequency domain measurement method .....	21
7 Calculations or interpretation of results .....	23
7.1 –3 dB frequency, $f_{3\text{ dB}}$ .....	23
7.2 Calculations for optional reporting methods .....	23
8 Length normalization .....	23
9 Results .....	23
9.1 Information to be provided with each measurement .....	23
9.2 Informations available upon request .....	25
10 Specification information .....	25
Annex A (normative) Intramodal dispersion factor and the normalized intermodal dispersion limit .....	27
Annex B (normative) Fibre transfer function, $H(f)$ .....	35
Annex C (normative) Calculations for other reporting methods .....	37
Annex D (informative) Comparison between this test method and ITU requirements .....	39
Annex E (informative) Mode scrambler requirements for overfilled launching conditions to multimode fibres .....	41
Bibliography .....	53

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## FIBRES OPTIQUES –

### Partie 1-41: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Largeur de bande

#### 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 60793-1-41 a été établie par le sous-comité 86A: Fibres et câbles, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2001. Cette édition constitue une révision technique.

Cette nouvelle édition est une mise à jour complétée en particulier par l'injection réduite destinée à la mesure des largeurs de bandes pour le système de transmission à injection laser.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86A/841/FDIS	86A/853/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.

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

La présente norme doit être lue conjointement à la CEI 6793-1-1.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## OPTICAL FIBRES –

**Part 1-41: Measurement methods and test procedures –  
Bandwidth**

## 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 60793-1-41 has been prepared by subcommittee 86A: Fibres and cables, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2001. This edition constitutes a technical revision.

This new edition updates and completes the earlier edition in particular by the restricted mode launch intended for the laser launch transmission system.

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

FDIS	Report on voting
86A/841/FDIS	86A/853/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 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 macro-courbures
- Partie 1-48: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Dispersion de mode de polarisation <sup>1)</sup>
- Partie 1-49: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Retard différentiel de mode <sup>2)</sup>

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007. 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 – Polarisation mode dispersion <sup>1)</sup>
- Part 1-49: Measurement methods and test procedures – Differential mode delay <sup>2)</sup>

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

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

---

1) To be published.

2) To be published.

## FIBRES OPTIQUES –

### Partie 1- 41: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Largeur de bande

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60793 décrit deux méthodes pour déterminer et mesurer la largeur de bande modale des fibres optiques multimodales (voir les CEI 60793-2-10, CEI 60793-2-30 et CEI 60793-2-40). La réponse fréquentielle en bande de base est directement mesurée dans le domaine fréquentiel en déterminant la réponse de la fibre à une source lumineuse modulée sinusoïdalement. La réponse en bande de base peut également être mesurée en observant l'élargissement d'une impulsion étroite de lumière. Ces deux méthodes sont les suivantes:

Méthode A – Méthode de mesure dans le domaine temporel optique (distorsion d'impulsion)

Méthode B – Méthode de mesure dans le domaine fréquentiel

Chaque méthode peut être réalisée en utilisant une des deux injections suivantes: condition d'injection saturée (overfilled launch, OFL) ou condition d'injection en mode partiel (restricted mode launch, RML).

NOTE Ces méthodes d'essai sont généralement utilisées dans les équipements de production et les équipements de recherche et ne sont pas facilement réalisées sur le terrain.

#### 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 60793-1-20:2001, *Fibres optiques – Partie 1-20: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Géométrie de la fibre*

CEI 60793-1-42:2001, *Fibres optiques – Partie 1-42: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Dispersion chromatique*

CEI 60793-1-43:2001, *Fibres optiques – Partie 1-43: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Ouverture numérique*

CEI 60793-2-10:2002, *Fibres optiques – Partie 2-10: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de la catégorie A1*

CEI 60793-2-30:2002, *Fibres optiques – Partie 2-30: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de la catégorie A3*

CEI 60793-2-40:2002, *Fibres optiques – Partie 2-40: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de la catégorie A4*

## OPTICAL FIBRES –

### Part 1-41: Measurement methods and test procedures – Bandwidth

#### 1 Scope

This part of IEC 60793 describes two methods for determining and measuring the modal bandwidth of multi-mode optical fibres (see IEC 60793-2-10, IEC 60793-2-30 and IEC 60793-2-40). The baseband frequency response is directly measured in the frequency domain by determining the fibre response to a sinusoidally modulated light source. The baseband response can also be measured by observing the broadening of a narrow pulse of light. The two methods are the following:

Method A – Optical time domain measurement method (pulse distortion)

Method B – Frequency domain measurement method

Each method can be performed using one of two launches: an overfilled launch (OFL) condition or a restricted mode launch (RML) condition.

NOTE These test methods are commonly used in production and research facilities and are not easily accomplished in the field.

#### 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 60793-1-20:2001, *Optical Fibres – Part 1-20: Measurement methods and test procedures – Fibre geometry*

IEC 60793-1-42:2001, *Optical fibres – Part 1-42: Measurement methods and test procedures – Chromatic dispersion*

IEC 60793-1-43:2001, *Optical fibres – Part 1-43: Measurement methods and test procedures – Numerical aperture*

IEC 60793-2-10:2001, *Optical fibres – Part 2-10: Product specifications – Sectional specification for category A1 multimode fibres*

IEC 60793-2-30:2002, *Optical fibres – Part 2-30: Product specifications – Sectional specification for category A3 multimode fibres*

IEC 60793-2-40:2002, *Optical fibres – Part 2-40: Product specifications – Sectional specification for category A4 multimode fibres*

### 3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 60793 la définition suivante s'applique.

#### 3.1

##### **largeur de bande (–3 dB)**

quantité numériquement égale à la plus petite fréquence de modulation pour laquelle le module de la fonction de transfert en bande de base d'une fibre optique devient égal à une fraction spécifiée, généralement la moitié, de sa valeur à la fréquence zéro.

NOTE Différentes méthodes de présentation des résultats sont décrites dans les annexes mais il convient d'exprimer les résultats en termes de fréquence à –3 dB (puissance optique) sauf stipulation contraire dans la spécification particulière.

### 4 Appareillage

#### 4.1 Source de rayonnements

##### 4.1.1 **Méthode de mesure dans le domaine temporel optique (mesure de la distorsion d'impulsion) (Méthode A)**

Utiliser pour la mesure une source de rayonnements telle qu'une diode laser à injection qui produit des impulsions de largeur spectrale étroite et de courte durée. La méthode de mesure de la distorsion d'impulsion exige la capacité de commuter l'énergie des sources lumineuses électriquement, optiquement ou mécaniquement.

##### 4.1.2 **Méthode de mesure dans le domaine fréquentiel (Méthode B)**

Utiliser pour la mesure, une source de rayonnements telle qu'une diode laser à injection d'onde continue (continuous wave, CW). La méthode de mesure dans le domaine fréquentiel exige la capacité de moduler l'énergie des sources lumineuses électriquement, optiquement ou mécaniquement.

##### 4.1.3 **Pour les deux méthodes**

- a) Utiliser une source de rayonnements présentant une longueur d'onde centrale qui est connue et qui se situe dans les limites de  $\pm 10$  nm par rapport à la longueur d'onde nominale spécifiée. Pour les diodes laser à injection, il faut que l'émission laser couplée dans la fibre dépasse l'émission spontanée de 15 dB au minimum (optique).
- b) Utiliser une source ayant une largeur spectrale suffisamment étroite pour assurer que la largeur de bande mesurée soit au moins égale à 90 % de la largeur de bande intermodale. Ceci est obtenu en calculant la limite normalisée de la dispersion intermodale, NIDL (voir l'Annexe A). Pour la fibre A4, la largeur spectrale de la diode laser est suffisamment étroite pour négliger sa contribution à la mesure de la largeur de bande.
- c) Pour les fibres A1 et A3, calculer la limite normalisée de la dispersion intermodale, NIDL (voir l'Annexe A) pour chaque longueur d'onde de mesure à partir de la largeur spectrale de la source optique pour la longueur d'onde concernée comme suit:

$$NIDL = IDF/\Delta\lambda \quad (1)$$

où

*NIDL* est la limite de dispersion intermodale normalisée en GHz·km;

$\Delta\lambda$  est la largeur spectrale de la source, largeur à mi-hauteur (FWHM) en nm;

*IDF* est le facteur de dispersion intramodale (GHz·km·nm) provenant de l'Annexe A selon la longueur d'onde de la source.

*NIDL* n'est pas définie pour les longueurs d'onde comprises entre 1200 nm et 1400 nm. La largeur spectrale de la source pour ces longueurs d'ondes doit être inférieure ou égale à 10 nm, FWHM.

### 3 Definitions

For the purposes of this part of IEC 60793, the following definition applies.

#### **bandwidth (–3 dB)**

the value numerically equal to the lowest modulation frequency at which the magnitude of the baseband transfer function of an optical fibre decreases to a specified fraction, generally to one half, of the zero frequency value.

NOTE Various methods of reporting the results are described in the annexes, but the results shall be expressed in terms of the –3 dB (optical power) frequency unless otherwise specified by the detail specification.

### 4 Apparatus

#### 4.1 Radiation source

##### 4.1.1 Optical time domain measurement method (pulse distortion measurement) (Method A)

Use a radiation source such as an injection laser diode that produces short duration, narrow spectral width pulses for the purposes of the measurement. The pulse distortion measurement method requires the capability to switch the energy of the light sources electrically, optically or mechanically.

##### 4.1.2 Frequency domain measurement method (Method B)

Use a radiation source such as a continuous wave (CW) injection laser diode for the purposes of the measurement. The frequency domain measurement method requires the capability to modulate the energy of the light sources electrically, optically or mechanically.

##### 4.1.3 For both methods

- a) Use a radiation source with a center wavelength that is known and within  $\pm 10$  nm of the nominal specified wavelength. For injection laser diodes, laser emission coupled into the fibre must exceed spontaneous emission by a minimum of 15 dB (optical).
- b) Use a source with sufficiently narrow linewidth to assure the measured bandwidth is at least 90 % of the intermodal bandwidth. This is accomplished by calculating the normalized intermodal dispersion limit, NIDL (refer to Annex A). For A4 fibre, the linewidth of the laser diode is narrow enough to neglect its contribution to bandwidth measurement.
- c) For A1 and A3 fibres, calculate the normalized intermodal dispersion limit (NIDL, see Annex A) for each measurement wavelength from the optical source spectral width for that wavelength as follows:

$$NIDL = IDF/\Delta\lambda$$

where:

*NIDL* is the normalized intermodal dispersion limit in GHz·km;

$\Delta\lambda$  is the source full width half maximum (FWHM) spectral width in nm;

*IDF* is the intramodal dispersion factor (GHz·km·nm) from Annex A according to the wavelength of the source.

*NIDL* is not defined for wavelengths from 1 200 nm to 1 400 nm. The source spectral width for these wavelengths shall be less than or equal to 10 nm, FWHM.

NOTE L'acceptabilité d'une valeur de la NIDL dépend des exigences d'essai spécifiques de l'utilisateur. Par exemple, une NIDL de 0,5 GHz.km serait satisfaisante pour vérifier que les fibres avaient des largeurs de bande minimales supérieures à certaines valeurs inférieures à 500 MHz.km, mais ne serait pas satisfaisante pour vérifier que des fibres avaient des largeurs de bande minimales supérieures à 500 MHz.km. Si la NIDL est trop basse, une source ayant une largeur spectrale plus petite est exigée.

d) La source de rayonnements doit être stable pendant toute la durée d'une impulsion unique et pendant le temps de réalisation de la mesure.

## 4.2 Système d'injection

### 4.2.1 Injection saturée (OFL)

#### 4.2.1.1 Condition OFL pour une fibre de catégorie A1

Utiliser un embrouilleur de modes entre la source lumineuse et l'échantillon en essai pour produire une injection contrôlée quelles que soient les propriétés de rayonnements de la source lumineuse. La sortie de l'embrouilleur de modes doit être couplée à l'extrémité d'entrée de l'échantillon en essai conformément à l'Annexe E. La position de la fibre doit être stable pendant une durée suffisante pour réaliser la mesure. Un système de visualisation peut être utilisé pour aider à aligner la fibre lorsqu'on utilise l'imagerie optique.

Fournir des moyens pour éliminer la lumière de la gaine de l'échantillon en essai. Le revêtement de fibre est souvent suffisant pour assurer cette fonction. Sinon, il sera nécessaire d'utiliser des extracteurs de modes de gaine à proximité des deux extrémités de l'échantillon en essai. Les fibres peuvent être retenues sur les extracteurs de modes de gaine avec de petits poids, mais il faut veiller à éviter toute microcourbure à ces emplacements.

NOTE Les mesures de la largeur de bande obtenues par une injection saturée (OFL) permettent l'utilisation des fibres multimodales de la catégorie A1, en particulier dans les applications de DEL à 850 nm et 1300 nm. Certaines applications laser peuvent également permettre cette injection mais pourraient donner lieu à des longueurs de liaisons réduites (à 850 nm) ou à des restrictions des sources lasers (à 1300 nm).

#### 4.2.1.2 Condition OFL pour les fibres de catégories A3 et A4

L'OFL est obtenue avec un système géométrique d'injecteur optique dans laquelle l'ouverture numérique théorique maximale de la fibre est dépassée par le cône d'injection et dans laquelle le diamètre de la tache injectée est de l'ordre du diamètre du cœur de la fibre.

### 4.2.2 Injection en mode partiel (restricted mode launch, RML)

#### 4.2.2.1 Condition RML pour une fibre de catégorie A1

La RML pour la largeur de bande est créée en filtrant l'injection saturée (comme défini à l'Annexe E) avec une fibre RML. L'OFL est définie par l'Annexe E et il est nécessaire qu'elle soit suffisamment importante pour saturer la fibre RML de manière angulaire et spatiale. La fibre RML a un diamètre de cœur de  $23,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$  et une ouverture numérique de  $0,208 \pm 0,01$ . La fibre doit avoir un profil à gradient d'indice avec un  $\alpha$  d'environ 2 et une largeur de bande OFL supérieure à 700 MHz.km à 850 nm et 1300 nm. Dans un souci de commodité, il convient que le diamètre de gaine soit égal à  $125 \mu\text{m}$ . Il convient que la fibre RML ait une longueur minimale de 1,5 m pour éliminer les modes de fuite; il convient qu'elle ait une longueur inférieure à 5 m pour éviter les effets de perte transitoire. L'injection sortant de la fibre RML est ensuite couplée à la fibre en essai.

Fournir des moyens pour éliminer la lumière de la gaine de l'échantillon en essai. Le revêtement de fibre est souvent suffisant pour assurer cette fonction. Sinon, il sera nécessaire d'utiliser des extracteurs de modes de gaine à proximité des deux extrémités de l'échantillon en essai. Les fibres peuvent être retenues sur les extracteurs de modes de gaine avec de petits poids, mais on doit veiller à éviter toute microcourbure à ces emplacements.

NOTE 1 Pour obtenir la précision la plus élevée possible, des tolérances strictes sont exigées concernant la géométrie et le profil de la fibre RML. Pour obtenir la reproductibilité de mesure la plus élevée, des tolérances strictes d'alignement sont exigées dans la connexion entre la fibre RML d'injection et la fibre en essai pour assurer que la fibre RML est centrée sur la fibre en essai.

NOTE The acceptability of an NIDL value depends upon the specific user's test requirements. For example, a 0,5 GHz·km NIDL would be satisfactory for checking that fibres had minimum bandwidths greater than some value less than 500 MHz·km, but would not be satisfactory for checking that fibres had minimum bandwidths greater than 500 MHz·km. If the NIDL is too low, a source with smaller spectral width is required.

- d) The radiation source shall be stable throughout the duration of a single pulse and over the time during which the measurement is made.

## 4.2 Launch system

### 4.2.1 Overfilled launch (OFL)

#### 4.2.1.1 OFL condition for A1 fibre

Use a mode scrambler between the light source and the test sample to produce a controlled launch irrespective of the radiation properties of the light source. The output of the mode scrambler shall be coupled to the input end of the test sample in accordance with Annex E. The fibre position shall be stable long enough to perform the measurement. A viewing system may be used to aid fibre alignment where optical imaging is used.

Provide means to remove cladding light from the test sample. Often the fibre coating is sufficient to perform this function. Otherwise, it will be necessary to use cladding mode strippers near both ends of the test sample. The fibres may be retained on the cladding mode strippers with small weights, but care must be taken to avoid microbending at these sites.

NOTE Bandwidth measurements obtained by the overfilled launch (OFL) support the use of category A1 multimode fibres, especially in LED applications at 850 nm and 1300 nm. Some laser applications may also be supported with this launch, but could result in reduced link lengths (at 850 nm) or restrictions on the laser sources (at 1300 nm).

#### 4.2.1.2 OFL condition for A3 and A4 fibres

OFL is obtained with a geometrical optic launch in which the maximum theoretical numerical aperture of the fibre is exceeded by the launching cone and in which the diameter of the launched spot is in the order of the core diameter of the fibre.

### 4.2.2 Restricted mode launch (RML)

#### 4.2.2.1 RML condition for A1 fibre

The RML for bandwidth is created by filtering the overfilled launch (as defined by Annex E) with a RML fibre. The OFL is defined by Annex E and it needs to be only large enough to overfill the RML fibre both angularly and spatially. The RML fibre has a core diameter of  $23,5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ , and a numerical aperture of  $0,208 \pm 0,01$ . The fibre must have a graded-index profile with an alpha of approximately 2 and an OFL bandwidth greater than 700 MHz·km at 850 and 1300 nm. For convenience, the clad diameter should be 125  $\mu\text{m}$ . The RML fibre should be at least 1,5 m in length to eliminate leaky modes; and it should be less than 5 m in length to avoid transient loss effects. The launch exiting the RML fibre is then coupled into the fibre under test.

Provide means to remove cladding light from the test sample. Often the fibre coating is sufficient to perform this function. Otherwise, it will be necessary to use cladding mode strippers near both ends of the test sample. The fibres may be retained on the cladding mode strippers with small weights, but care shall be taken to avoid microbending at these sites.

NOTE 1 In order to achieve the highest accuracy, tight tolerances are required on the geometry and profile of the RML fibre. In order to achieve the highest measurement reproducibility, tight alignment tolerances are required in the connection between the launch RML fibre and the fibre under test to ensure the RML fibre is centered to the fibre under test.

NOTE 2 Des mesures de largeur de bande modale sur les fibres de type A1b obtenues par cette injection en mode réduit à 850nm ont été effectuées pour corrélérer la largeur de bande modale effective produite par les émetteurs de lasers 850 nm seulement lorsque de tels émetteurs réunissent certaines conditions d'injection. Plus précisément, pour les fibres de type A1b, l'injection en mode réduit à 850nm (RML) largeur de bande  $\geq 385\text{MHz}\cdot\text{km}$  fournit une largeur de bande modale effective minimum de  $385\text{MHz}\cdot\text{km}$  pour des sources réunissant les trois conditions d'injection suivantes: Longueur d'onde nominale de fonctionnement = 850nm; flux encerclé  $\leq 25\%$  à  $4,5\text{-}\mu\text{m}$  de rayon; flux encerclé  $\geq 75\%$  à  $15\text{-}\mu\text{m}$  de rayon. Flux encerclé mesuré selon la CEI 61280-1-4.

#### 4.2.2.2 Condition RML pour fibres de catégories A3 et A4

##### 4.2.2.2.1 Condition RML pour une fibre de catégorie A3

La condition RML pour les fibres de catégorie A3 est créée avec un système géométrique d'injecteur optique qui correspond à une ouverture numérique ON de 0,3.

La taille de la tache doit être supérieure ou égale à la taille du cœur.

##### 4.2.2.2.2 Condition RML pour une fibre de catégorie A4

L'injection en mode réduit (RML) pour les fibres de catégorie A4 est créée en filtrant l'injection saturée avec un filtre de modes enroulé sur mandrin, comme représenté à la Figure 1. Le filtre de modes doit être fait avec une fibre de la même catégorie que celle en essai. Pour éviter une perte redondante, il convient que la longueur de la fibre soit de 1 mètre. Le diamètre du mandrin doit être 20 fois plus grand que celui de la gaine de fibre et le nombre de tours doit être de 5.

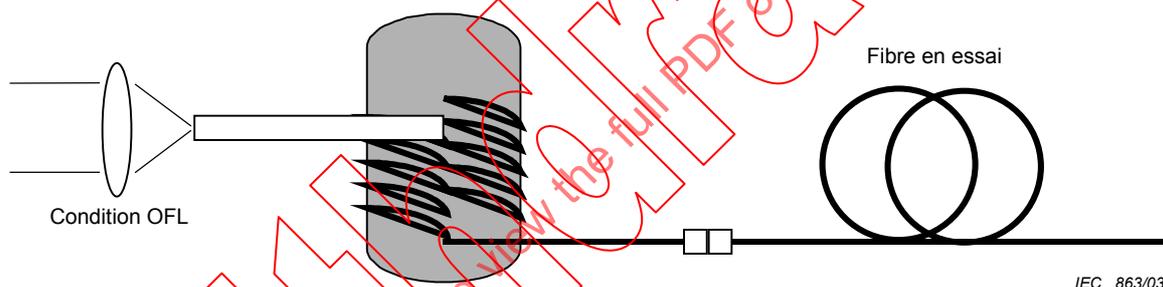


Figure 1 – Filtre de modes enroulé sur mandrin

NOTE Ne pas appliquer de contrainte excessive en enroulant la fibre sur le mandrin. La fibre enroulée peut être fixée au mandrin avec un adhésif. Il convient que les parties non enroulées de la fibre soient placées droites.

### 4.3 Système de détection

L'appareil de détection optique en sortie doit être capable de coupler tous les modes guidés de l'échantillon en essai à la zone active du détecteur de telle manière que la sensibilité de détection ne dépende pas du mode de façon significative. Le détecteur doit répondre de manière linéaire sur la gamme de puissance détectée. Un affaiblisseur optique peut être utilisé pour contrôler l'intensité optique sur le détecteur.

Un dispositif doit être disponible pour positionner l'extrémité de sortie du spécimen avec une stabilité et une reproductibilité suffisante pour satisfaire aux conditions de 4.6.

On doit utiliser un détecteur optique qui soit adapté à une utilisation à la longueur d'onde d'essai, à réponse en amplitude linéaire, ayant une uniformité spatiale meilleure que 10 % et de taille suffisante pour détecter toute la puissance émise.

Le signal optique détecté doit être affiché sur un appareil de mesure adapté, tel qu'un oscilloscope à échantillonnage à vitesse élevée, avec vitesse de balayage étalonnée pour la méthode dans le domaine temporel et un analyseur de spectre électrique pour la mesure dans le domaine fréquentiel. L'électronique de détection ainsi que tout pré-amplificateur de signal doit être linéaire dans sa réponse en amplitude (non-linéarités inférieures à 5 %) sur la plage des signaux rencontrés.

NOTE 2 - Modal bandwidth measurements on type A1b fibres obtained by this restricted mode launch at 850 nm have been shown to correlate with the effective modal bandwidth produced by 850-nm laser transmitters only when such transmitters meet certain launch conditions. More specifically, for type A1b fibres, 850-nm restricted mode launch (RML) bandwidth  $\geq 385 \text{ MHz} \cdot \text{km}$  provides a minimum of  $385 \text{ MHz} \cdot \text{km}$  effective modal bandwidth for sources meeting the following three launch conditions: Nominal operating wavelength = 850 nm; encircled flux  $\leq 25\%$  at  $4.5\text{-}\mu\text{m}$  radius; encircled flux  $\geq 75\%$  at  $15\text{-}\mu\text{m}$  radius. Encircled flux measured per IEC 61280-1-4.

#### 4.2.2.2 RML condition for A3 and A4 fibres

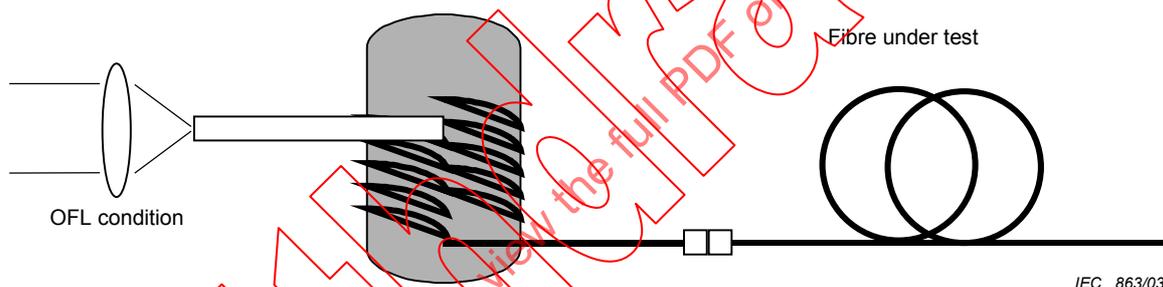
##### 4.2.2.2.1 RML condition for A3 fibre

RML condition for A3 fibre is created with geometrical optic launch which corresponds to a numerical aperture launch of 0,3.

Spot size shall be larger or equal to the size of core.

##### 4.2.2.2.2 RML condition for A4 fibre

The restricted mode launch (RML) for A4 fibre is created by filtering the overfilled launch with a mandrel wrapped mode filter, shown in Figure 1. The mode filter shall be made with the fibre of the same category as the fibre under test. In order to avoid redundant loss, the length of fibre should be 1 m. The diameter of the mandrel shall be 20 times as large as that of the fibre cladding and the number of coils shall be 5.



**Figure 1 – A mandrel wrapped mode filter**

NOTE Do not apply any excessive stress in winding fibre onto the mandrel. The wound fibre may be fixed to the mandrel with an adhesive. Unwound parts of fibre should be set straight.

#### 4.3 Detection system

The output optical detection apparatus shall be capable of coupling all guided modes from the test sample to the detector active area such that the detection sensitivity is not significantly mode-dependent. The detector shall respond linearly over the range of power detected. An optical attenuator may be used to control the optical intensity on the detector.

A device shall be available to position the specimen output end with sufficient stability and reproducibility to meet the conditions of 4.6.

An optical detector shall be used that is suitable for use at the test wavelength, linear in amplitude response, spatially uniform to within 10 %, and sufficiently large to detect all emitted power.

The detected optical signal shall be displayed on a suitable instrument, such as a high speed, sampling oscilloscope with calibrated sweep rate for the time domain method and an electrical spectrum analyzer for the frequency domain measurement. The detection electronics as well as any signal preamplifier shall be linear in amplitude response (non-linearities less than 5 %) over the range of encountered signals.

#### 4.4 Système d'enregistrement

Pour la méthode dans le domaine temporel optique (méthode A), utiliser un oscilloscope convenablement connecté à un dispositif d'enregistrement, tel un ordinateur numérique pour stocker l'amplitude d'impulsion reçue en fonction du temps. Pour les mesures temporelles, les données provenant de l'affichage de l'oscilloscope doivent être considérées comme secondaires par rapport à celles provenant du signal enregistré.

Pour la méthode dans le domaine fréquentiel (méthode B), utiliser une combinaison générateur asservi–analyseur de spectre électrique ou un dispositif équivalent pour détecter, afficher et enregistrer l'amplitude du signal de modulation RF provenant du détecteur optique. Ceci doit être réalisé de manière à réduire la distorsion harmonique à moins de 5 %.

#### 4.5 Equipement de calcul

Pour la méthode dans le domaine temporel optique (méthode A), on doit utiliser un équipement de calcul capable de réaliser des transformations de Fourier sur les formes d'onde d'impulsion optique détectées comme enregistré par le système d'enregistrement de la forme d'onde. Cet équipement peut mettre en œuvre une des transformées rapides de Fourier ou d'autres algorithmes adaptés et il est utile pour d'autres fonctions de conditionnement de signal ainsi que de moyennage et de stockage de formes d'onde.

#### 4.6 Performance du système global

NOTE Ce paragraphe fournit un moyen de vérifier la stabilité du système pendant la durée d'une mesure ou la période d'étalonnage du système, en fonction de la méthode utilisée (A ou B, voir 6.1 et 6.2, respectivement).

La stabilité du système de mesure est soumise aux essais en comparant les transformées de Fourier des impulsions d'entrée du système (méthode B) ou les réponses fréquentielles en entrée (méthode A) sur un intervalle de temps. Comme cela est présenté à l'Annexe B, une mesure de la largeur de bande normalise la transformée d'impulsion de sortie de la fibre par la transformée d'étalonnage du système. Si un échantillon de référence prend la place de l'échantillon de fibre, la réponse qui en résulte,  $H(f)$ , représente une comparaison du système avec lui-même sur l'intervalle de temps. Cette stabilité d'amplitude du système normalisée est utilisée pour déterminer la limite de fréquence de stabilité du système (system stability frequency limit, SSFL).

La limite de fréquence de stabilité du système (SSFL) est la fréquence la plus faible à laquelle la stabilité de l'amplitude du système s'écarte de 5 % par rapport à l'unité. Si la méthode A-1 ou B-1 est utilisée, elle doit être déterminée à partir d'une nouvelle mesure à un intervalle de temps similaire à celui utilisé pour une mesure de fibre réelle. Si la méthode A-2 ou B-2 est utilisée, elle doit être déterminée sur un intervalle de temps sensiblement identique à celui utilisé pour l'étalonnage périodique du système (voir 6.1.1). Dans ce dernier cas, l'intervalle de temps peut influencer la SSFL.

Pour déterminer la SSFL, affaiblir le signal optique atteignant le détecteur dans une proportion supérieure ou égale à l'affaiblissement de l'échantillon en essai plus 3 dB. Ceci peut nécessiter l'introduction d'un affaiblisseur dans le chemin optique, si un affaiblisseur, tel que celui qui pourrait être utilisé pour la normalisation du signal et la mise à l'échelle, n'est pas déjà présent. Des écarts normaux d'emplacement et d'amplitude de la réponse en impulsion ou en fréquence sur le dispositif d'affichage doivent aussi être présents pendant la détermination de la SSFL.

### 5 Echantillonnage et échantillons à l'essai

#### 5.1 Echantillon en essai

L'échantillon en essai doit être constitué d'une longueur connue de fibre optique ou de câble à fibres optiques.

#### 4.4 Recording system

For the optical time domain method (Method A), use an oscilloscope suitably connected to a recording device, such as a digital processor, to store the received pulse amplitude as a function of time. For temporal measurements, data taken from the oscilloscope display shall be considered secondary to those derived from the recorded signal.

For the frequency domain method (Method B), use a tracking generator-electrical spectrum analyzer combination or the equivalent to detect, display and record the amplitude of the RF modulation signal derived from the optical detector. This shall be done in such a manner as to reduce harmonic distortion to less than 5 %.

#### 4.5 Computational equipment

For the optical time domain method (Method A), computational equipment capable of performing Fourier transforms on the detected optical pulse waveforms as recorded by the waveform recording system shall be used. This equipment may implement any of the several fast Fourier transforms or other suitable algorithms, and is useful for other signal conditioning functions, waveform averaging and storage as well.

#### 4.6 Overall system performance

NOTE This subclause provides a means of verifying system stability for the duration of a measurement or the system calibration period, depending on the method used (A or B, see 6.1 and 6.2, respectively).

The measurement system stability is tested by comparing system input pulse Fourier transforms (Method B) or input frequency responses (Method A) over a time interval. As shown in Annex B, a bandwidth measurement normalizes the fibre output pulse transform by the system calibration transform. If a reference sample is substituted for the fibre sample, the resultant response,  $H(f)$ , represents a comparison of the system to itself over the time interval. This normalized system amplitude stability is used to determine the system stability frequency limit (SSFL).

The system stability frequency limit (SSFL) is the lowest frequency at which the system amplitude stability deviates from unity by 5 %. If Method A-1 or B-1 is employed, it shall be determined on the basis of one re-measurement at a time interval similar to that used for an actual fibre measurement. If Method A-2 or B-2 is employed, it shall be determined over substantially the same time interval as that which is used for periodic system calibration (see 6.1.1). In this latter case, the time interval may influence the SSFL.

To determine the SSFL, attenuate the optical signal reaching the detector by an amount equal to or greater than the attenuation of the test sample plus 3 dB. This may require the introduction of an attenuator into the optical path, if an attenuator, such as might be used for signal normalization and scaling, is not already present. Also, normal deviations in the position and amplitude of the pulse or frequency response on the display device shall be present during the determination of the SSFL.

### 5 Sampling and specimens

#### 5.1 Test sample

The test sample shall be a known length of optical fibre or optical fibre cable.

## 5.2 Echantillon de référence

L'échantillon de référence doit être constitué d'une courte longueur de fibre du même type que l'échantillon en essai ou coupée à partir de cet échantillon en essai. Sauf dans le cas de fibre de catégorie A4, la longueur de référence doit être inférieure à 1 % de la longueur de l'échantillon en essai ou inférieure à 10 m, en prenant la plus faible de ces deux valeurs.

Pour la fibre de catégorie A4, la longueur de référence doit être comprise entre 1 m et 2 m. Dans le cas de RML, la sortie du filtre de mode est la référence.

## 5.3 Préparation des extrémités

Préparer des surfaces d'extrémité lisses, plates, perpendiculairement à l'axe de la fibre.

## 5.4 Conditionnement de l'échantillon en essai

Placer et déployer l'échantillon en essai d'une manière qui dissipe la tension et minimise les microcourbures.

Pour la fibre de catégorie A4, l'échantillon en essai doit être enroulé sur des bobines d'un diamètre d'au moins 300 mm, sans contrainte. On doit être certain que l'échantillon en essai ne subit ni macro ni micro-courbures et que la distribution d'énergie à la sortie du système d'injection est réellement constante.

## 5.5 Positionnement de l'échantillon en essai

Positionner l'extrémité d'entrée de l'échantillon en essai de manière à ce qu'elle soit alignée avec l'extrémité de sortie du système d'injection pour créer les conditions d'injection conformes à 4.2.

Positionner l'extrémité de sortie de l'échantillon en essai de manière qu'elle soit alignée avec le détecteur optique.

# 6 Procédure

## 6.1 Méthode A – Mesure de l'impulsion d'entrée par la méthode de distorsion d'impulsion (domaine temporel optique)

- a) Injecter la puissance dans la fibre en essai et régler l'affaiblisseur optique ou l'électronique de détection, ou les deux, de manière que l'impulsion optique complète provenant de la fibre soit affichée sur l'oscilloscope étalonné, y compris tous les fronts et flancs arrière ayant une amplitude supérieure ou égale à 1 % ou  $-20$  dB de l'amplitude de pic.
- b) Enregistrer l'amplitude détectée et la vitesse de balayage étalonnée de l'oscilloscope.
- c) Enregistrer l'impulsion de sortie de la fibre et calculer la transformée de Fourier de cette impulsion, selon l'Annexe B.
- d) Déterminer l'impulsion d'entrée sur l'échantillon en essai en mesurant le signal qui sort de l'échantillon de référence. Ceci peut être réalisé en utilisant une longueur de référence prélevée sur l'échantillon en essai ou sur une fibre similaire.

### 6.1.1 Méthode A-1 de mesure de l'impulsion d'entrée: échantillon de référence provenant de l'échantillon en essai

- a) Couper la fibre en essai à proximité de l'extrémité d'entrée selon 5.2. Créer une nouvelle surface d'extrémité de sortie, selon 5.3, et aligner l'extrémité par rapport au détecteur optique comme indiqué au point a) de 6.1. Ne pas perturber l'extrémité d'entrée.
- b) Appliquer l'extracteur de modes de gaine, s'il est utilisé (voir 5.2).

## 5.2 Reference sample

The reference sample shall be a short length of fibre of the same type as the test sample, or cut from the test sample. Except A4 fibre, the reference length shall be less than 1 % of the test sample length or less than 10 m, whichever is shorter.

For A4 fibre, the reference length shall be 1 m to 2 m. In case of RML, the output of the mode filter is the reference.

## 5.3 End preparation

Prepare smooth, flat endfaces, perpendicular to the fibre axis.

## 5.4 Test sample packaging

Support and deploy the test sample in a manner that relieves tension and minimizes microbending.

For A4 fibre, test sample shall be wound into coils with diameter of at least 300 mm, free from any stress. It shall be certain that the test sample is free from both macro- and micro-bending and that the energy distribution at the output of the launching system is substantially constant.

## 5.5 Test sample positioning

Position the input end of the test sample such that it is aligned to the output end of the launch system to create launching conditions in accordance with 4.2.

Position the output end of the test sample such that it is aligned to the optical detector.

## 6 Procedure

### 6.1 Method A – Pulse distortion method (optical time domain) input pulse measurement

- a) Inject power into the test fibre and adjust the optical attenuator or detection electronics, or both, such that one entire optical pulse from the fibre is displayed on the calibrated oscilloscope, including all leading and trailing edges having an amplitude greater than or equal to 1 % or –20 dB of the peak amplitude.
- b) Record the detected amplitude and the calibrated oscilloscope sweep rate.
- c) Record the fibre output pulse and calculate the Fourier transform of this pulse, as per Annex B.
- d) Determine the input pulse to the test sample by measuring the signal exiting the reference sample. This may be accomplished by using a reference length cut from the test sample or from a similar fibre.

#### 6.1.1 Input pulse measurement Method A-1: reference sample from test sample

- a) Cut the test fibre near the input end according to 5.2. Create a new output endface, as per 5.3, and align the end with respect to the optical detector as outlined in point a) of 6.1. Do not disturb the input end.
- b) Apply the cladding mode stripper, if used (see 5.2).

- c) Si un affaiblisseur optique est utilisé, re-régler pour la même amplitude d'impulsion affichée comme indiqué au point a) de 6.1).
- d) Enregistrer l'impulsion d'entrée du système en utilisant la même vitesse de balayage de l'oscilloscope que pour l'échantillon en essai et calculer la transformée de Fourier de l'impulsion d'entrée selon l'Annexe B.

### 6.1.2 Méthode A-2 de mesure de l'impulsion d'entrée: Echantillon de référence périodique

- a) La procédure suivante d'étalonnage du système qui utilise l'échantillon de référence périodique doit être effectuée dans un intervalle de temps sensiblement identique à celui utilisé pour déterminer la SSFL (voir 4.6). Dans la plupart des cas où la préparation appropriée de l'embrouilleur de modes, de la diode laser et de l'équipement d'alignement a été réalisée, il est acceptable d'utiliser un échantillon de référence qui ne soit pas prélevé sur l'échantillon en essai.
- b) Préparer les extrémités d'entrée et de sortie selon 5.3 sur un échantillon de référence de la même classe de fibre et avec les mêmes dimensions optiques nominales que l'échantillon en essai.
- c) Aligner les extrémités d'entrée et de sortie comme indiqué en 5.5 et, si un affaiblisseur optique est utilisé, régler pour obtenir l'amplitude d'impulsion affichée correcte.
- d) Enregistrer l'impulsion d'entrée du système en utilisant la même vitesse de balayage de l'oscilloscope que pour l'échantillon en essai et calculer la transformée de Fourier de l'impulsion d'entrée selon l'Annexe B.

## 6.2 Méthode B – Méthode de mesure dans le domaine fréquentiel

- a) Balayer la fréquence de modulation,  $f$ , de la source depuis la fréquence basse, pour fournir un niveau de référence adéquat continu, jusqu'à la fréquence haute supérieure à la largeur de bande de 3dB. Enregistrer la puissance optique relative sortant de l'échantillon à l'essai en fonction de  $f$ , la désigner comme  $P_{out}(f)$ .

NOTE Une fonction liée à  $P_{out}(f)$ , telle que  $\log P_{out}(f)$ , peut être enregistrée pour obtenir finalement  $H(f)$  en 7.1.

- b) Déterminer le signal modulé d'entrée sur l'échantillon en essai en mesurant le signal qui sort de la longueur de référence de la fibre. Ceci peut être réalisé en utilisant une longueur de référence de l'échantillon en essai (Méthode B-1; la méthode préférentielle à utiliser en cas de conflit dans les résultats d'essai) ou à partir d'une fibre similaire (Méthode B-2).

### 6.2.1 Méthode B-1: Longueur de référence de l'échantillon à l'essai

Couper l'échantillon en essai à proximité de l'extrémité d'entrée et préparer des surfaces d'extrémité plates (voir 5.3) au niveau de cette extrémité de sortie nouvellement créée. Extraire les modes de gaines de l'extrémité de sortie, si nécessaire. Ne pas perturber les conditions d'injection sur cette faible longueur.

### 6.2.2 Méthode B-2: Longueur de référence d'une fibre similaire

- a) Si l'appareil existe pour positionner une fibre à la même place dans la sortie de l'embrouilleur de modes que celle de l'entrée de l'échantillon en essai alors une autre faible longueur de fibre ayant les mêmes propriétés nominales de l'échantillon en essai peut être utilisée à sa place comme référence. Utiliser la fibre de référence pour remplacer l'échantillon en essai. Appliquer un extracteur de modes de gaine, si nécessaire et aligner l'extrémité de sortie devant le détecteur.
- b) Balayer la fréquence de modulation,  $f$ , de la source depuis la fréquence basse, pour fournir un niveau de référence adéquat continu, jusqu'à une fréquence haute supérieure à la largeur de bande de 3dB. Enregistrer la puissance optique relative sortant de la longueur de référence en fonction de  $f$ ; la désigner comme  $P_{in}(f)$ .

NOTE Une fonction liée à  $P_{in}(f)$ , telle que  $\log P_{in}(f)$ , peut être enregistrée pour obtenir finalement  $H(f)$  en 7.2.

- c) If an optical attenuator is used, readjust for the same displayed pulse amplitude as outlined in point a) of 6.1.
- d) Record the system input pulse using the same oscilloscope sweep rate as for the test sample, and calculate the input pulse Fourier transform as per Annex B.

### 6.1.2 Input pulse measurement Method A-2: Periodic reference sample

- a) The following system calibration procedure employing the periodic reference sample shall be performed over substantially the same time interval as used to determine the SSFL (see 4.6). In most cases where adequate preparation of mode scrambler, laser diode, and alignment equipment has been made, it is acceptable to use a reference sample not taken from the test sample.
- b) Prepare input and output ends as per 5.3 on a reference sample of the same fibre class and same nominal optical dimensions as the test sample.
- c) Align the input and output ends as outlined in 5.5 and, if an optical attenuator is used, adjust to obtain the correct displayed pulse amplitude.
- d) Record the system input pulse using the same oscilloscope sweep rate as for the test sample, and calculate the input pulse Fourier transform as per Annex B.

## 6.2 Method B – Frequency domain measurement method

- a) Sweep the modulation frequency,  $f$ , of the source from a low frequency, to provide an adequate DC zero reference level, to high frequency in excess of the 3dB bandwidth. Record the relative optical power exiting the test specimen as a function of  $f$ ; denote this power as  $P_{out}(f)$ .

NOTE A function related to  $P_{out}(f)$ , such as  $\log P_{out}(f)$ , may be recorded to finally obtain  $H(f)$  in paragraph 7.1.

- b) Determine the input modulated signal to the test sample by measuring the signal exiting the reference length of the fibre. This may be accomplished using a reference length from the test sample (Method B-1; preferred method to be used in case of conflict in test results) or from a similar fibre (Method B-2).

### 6.2.1 Method B-1: Reference length from test specimen

Cut the test sample near the input end and prepare flat end faces (see 5.3) at this newly created output end. Strip the cladding modes from the output end, if necessary. Do not disturb the launching conditions to this short length.

### 6.2.2 Method B-2: Reference length from similar fibre

- a) If the apparatus exists to position a fibre at the same place in the mode scrambler output as was the input of the test sample, then another short length of fibre having the same nominal properties of the test sample may be substituted as the reference. Use the reference fibre to replace the test sample. Apply a cladding mode stripper, if necessary, and align the output end in front of the detector.
- b) Sweep the modulation frequency,  $f$ , of the source from a low frequency, to provide an adequate DC zero reference level, to a high frequency in excess of the 3 dB bandwidth. Record the relative optical power exiting the reference length as a function of  $f$ ; denote this power as  $P_{in}(f)$ .

NOTE A function related to  $P_{in}(f)$ , such as  $\log P_{in}(f)$ , may be recorded to finally obtain  $H(f)$  in paragraph 7.2.

## 7 Calculs ou interprétation des résultats

### 7.1 Fréquence $-3$ dB, $f_{3\text{dB}}$

Calculer la réponse fréquentielle,  $H(f)$ . Calculer la largeur de bande de la fibre  $-3$  dB,  $f_{3\text{dB}}$  conformément à l'Annexe B.

Si la fréquence mesurée  $-3$  dB dépasse la  $NIDL$  (comme calculée en 4.1.3) divisée par la longueur de fibre,  $L$ , en km, noter le résultat mesuré. Dans ce cas, il est préférable de montrer que le résultat de mesure peut avoir été limité par l'équipement, comme représenté dans l'exemple 1.

EXEMPLE 1 Une fibre de 2,2 km de long a une fréquence  $-3$  dB de longueur normalisée mesurée de 2,2 GHz·km, mais le système de mesure a une valeur de  $NIDL$  de 2 GHz·km à cette longueur d'onde. Le résultat est de préférence présenté ">valeur mesurée normalisée" (" $>2,2$  GHz·km", dans cet exemple). De même, la valeur réelle mesurée est de préférence présentée ">{valeur mesurée}" (" $>1,0$  GHz", dans cet exemple). Le signe ">" montre que la valeur mesurée peut avoir été limitée par une série d'essais. Si la fréquence  $-3$  dB mesurée dépasse la  $SSFL$  (comme déterminé en 4.6), indiquer le résultat comme supérieure à la  $SSFL$  comme indiqué dans l'exemple 2.

EXEMPLE 2 Une fibre de 2,2 km de long a une fréquence  $-3$  dB mesurée de 0,95 GHz (2,09 GHz·km), qui est supérieure à la  $SSFL$  pour la série d'essai, 0,9 GHz (1,98 GHz·km pour cette longueur de fibre). Présenter le résultat comme ">(SSFL)" (" $>0,9$  GHz", ici). Présenter le résultat en longueur normalisée comme ">(SSFL fois la longueur d'échantillon en km)" (" $>1,98$  GHz·km", ici). Le signe ">" est nécessaire pour montrer que la valeur mesurée est limitée par une série d'essai.

### 7.2 Calculs pour les méthodes de présentation optionnelles

D'autres méthodes de présentation peuvent être exigées par une spécification particulière au lieu de  $f_{3\text{dB}}$ . Se référer à l'annexe appropriée:

Annexe B: Fonction de transfert de fibre,  $H(f)$

Annexe B: Réponse fréquentielle de fibre,  $|H(f)|$

Annexe C: Réponse impulsionnelle de fibre,  $h(t)$

Annexe C: Réponse impulsionnelle RMS, Méthode A

Annexe C: Réponse impulsionnelle RMS, Méthode B – Différence des carrés

## 8 Normalisation de la longueur

Il peut être souhaitable de normaliser la largeur de bande ou l'élargissement d'impulsion à une unité de longueur, telle que GHz·km ou ns/km. Si la largeur de bande ou l'élargissement d'impulsion est normalisé à une longueur d'unité, la formule de dépendance de longueur doit être indiquée.

## 9 Résultats

### 9.1 Informations à fournir pour chaque essai

Relever les informations suivantes pour chaque essai:

- référence de la procédure d'essai et méthode utilisée;
- conditions d'injection utilisées (RML ou OFL);
- date d'essai;

## 7 Calculations or interpretation of results

### 7.1 –3 dB frequency, $f_{3dB}$

Calculate the frequency response,  $H(f)$ . Calculate the –3 dB fibre bandwidth,  $f_{3dB}$  in accordance with Annex B.

If the measured –3 dB frequency exceeds the *NIDL* (as calculated in 4.1.3) divided by the fibre length,  $L$ , in km, report the measured result. In this case, it is preferable to show that the measurement result may have been limited by the equipment, as shown in Example 1.

**EXAMPLE 1** A fibre 2.2 km long has a length-normalized measured –3 dB frequency of 2.2 GHz·km, but the measurement system has a *NIDL* of 2 GHz·km at this wavelength. Preferably, the result is reported as “>normalized measured value” (“>2,2 GHz·km”, in this example). Similarly, the actual measured value is preferably reported as “>{measured value}” (“>1,0 GHz”, in this example). The “>” sign shows that the measured value may have been limited by the test set. If the measured –3 dB frequency exceeds the *SSFL* (as determined in 4.6), report the result as being greater than the *SSFL* as shown in example 2.

**EXAMPLE 2** A fibre 2,2 km long has a measured –3 dB frequency of 0,95 GHz (2,09 GHz·km), which is greater than the *SSFL* for the test set, 0,9 GHz (1,98 GHz·km for this fibre length). Report the result as “>(SSFL)” (“>0,9 GHz”, here). Report the length-normalized result as “>(SSFL times the sample length in km)” (“>1,98 GHz·km”, here). The “>” sign is required to show that the measured value is limited by the test set.

### 7.2 Calculations for optional reporting methods

Other reporting methods may be required by a detail specification in lieu of  $f_{3dB}$ . Refer to the appropriate annex:

Annex B: Fibre transfer function,  $H(f)$

Annex B: Fibre frequency response,  $|H(f)|$

Annex C: Fibre impulse response,  $h(t)$

Annex C: RMS impulse response, Method A

Annex C: RMS impulse response, Method B – Difference of squares

## 8 Length normalization

It may be desirable to normalize the bandwidth or pulse broadening to a unit length, such as GHz·km, or ns/km. If the bandwidth or pulse broadening is normalized to a unit length, the length dependence formula used shall be reported.

## 9 Results

### 9.1 Information to be provided with each measurement

Report the following information with each measurement:

- test procedure number and method used;
- launch conditions used (RML or OFL);
- test date;

- identification de l'échantillon en essai;
- résultats d'essai:  $f_{3dB}$  (7.1) ou résultats d'autres méthodes de présentation selon ce qui est stipulé dans la spécification particulière;
- longueur d'onde source (nominale ou réelle);
- longueur de l'échantillon;
- formule de normalisation de la longueur, si utilisée.

## 9.2 Informations à fournir sur demande

Les informations suivantes doivent être fournies sur demande:

- source: type, longueur d'onde de source réelle, largeur spectrale maximale spécifiée ou réelle (FWHM) – indiquer si pas mesuré;
- description de l'embrouilleur de modes et de l'appareil d'injection;
- la limite de dispersion intermodale normalisée (NIDL), pour chaque longueur d'onde de mesure;
- type de détecteur et conditions de fonctionnement;
- détails de la procédure de calcul pour la largeur de bande ou autres méthodes de présentation;
- méthode d'extraction de la lumière de gaine;
- date du dernier étalonnage en date de l'équipement d'essai;
- titre de l'essai;
- personnel d'essai.

## 10 Information à mentionner dans la spécification

La spécification particulière doit préciser les informations suivantes:

- nombre et type d'échantillons à soumettre aux essais;
- référence de la procédure d'essai;
- méthode de présentation à utiliser, si autre que 7.1;
- longueur(s) d'onde d'essai.

- test sample identification;
- test results:  $f_{3dB}$  (7.1) or results of other reporting methods as required by the detail specification;
- source wavelength (nominal or actual);
- sample length;
- length normalization formula, if used.

## 9.2 Informations available upon request

The following information shall be available upon request:

- source: type, actual source wavelength, maximum specified or actual spectral width (FWHM) – state if not measured;
- description of mode scrambler and launch apparatus;
- the normalized intermodal dispersion limit, (NIDL), for each measurement wavelength;
- detector type and operating conditions;
- details of computational procedure to calculate bandwidth or other reporting methods.
- method of stripping cladding light;
- date of latest calibration of test equipment;
- title of test;
- test personnel.

## 10 Specification information

The detail specification shall specify the following information:

- number and type of samples to be tested;
- test procedure number;
- reporting method to be used, if other than 7.1;
- test wavelength(s).

## Annexe A (normative)

### Facteur de dispersion intramodale et limite de dispersion intermodale normalisée

#### A.1 Facteur de dispersion intramodale, IDF

Cette méthode d'essai est destinée à mesurer la largeur de bande intermodale d'une fibre. Cependant, la dispersion complémentaire causée par l'interaction du spectre laser avec la dispersion chromatique de la fibre peut réduire la valeur mesurée. Le but de l'IDF est de fournir les moyens pour limiter cette source d'erreur de mesure. L'IDF a pour unité, GHz·km·nm et correspond à la fréquence à laquelle la largeur de bande mesurée tombe à 90 % de la largeur de bande intermodale, par nanomètre de largeur spectrale de la source, par kilomètre de longueur de fibre. Voir l'Article A.3 pour la déduction de l'IDF. Les données du Tableau 1 représentent la dispersion attendue la plus élevée pour toute fibre de la catégorie A1 disponible sur le marché, sur la base de la performance de dispersion nominale. Pour les données du tableau inférieures à 1200 nm, la dispersion est la plus forte avec une fibre de  $\lambda_0$  maximale (fibre à 0,29 d'ouverture numérique). Pour les données du tableau supérieures à 1400 nm, la dispersion est la plus forte avec une fibre de  $\lambda_0$  minimale (fibre à 0,20 d'ouverture numérique). Ici  $\lambda_0$  est la longueur d'onde à dispersion nulle. L'IDF n'est pas utilisée entre 1200 et 1400 nm.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF  
WithNorm.com

## Annex A (normative)

### Intramodal dispersion factor and the normalized intermodal dispersion limit

#### A.1 Intramodal dispersion factor, IDF

This test method is intended to measure the intermodal bandwidth of a fibre. However, additional dispersion caused by interaction of the laser spectrum with the fibre chromatic dispersion can reduce the measured value. The purpose of the IDF is to provide a means of limiting this source of measurement error. The IDF has units of GHz·km·nm, and is the frequency at which the measured bandwidth drops to 90 % of the intermodal bandwidth, per nanometer of source linewidth, per kilometer of fibre length. See Clause A.3. for the derivation of the IDF. The data in Table 1 represents the highest expected dispersion for any of the commercially available category A1 fibres, based on nominal dispersion performance. For table data lower than 1200 nm, dispersion is greatest with fibre of maximum  $\lambda_0$  (0,29 NA fibre). For table data greater than 1400 nm, dispersion is greatest with fibre of minimum  $\lambda_0$  (0,20 NA fibre). Here  $\lambda_0$  is the zero-dispersion wavelength. IDF is not used between 1200 and 1400 nm.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF 60793-1-41:2003

**Tableau A.1 – Valeurs de la dispersion attendue la plus élevée [1]<sup>3</sup>**

$\lambda$ nm	IDF GHz·km·nm	$\lambda$ nm	IDF GHz·km·nm	$\lambda$ nm	IDF GHz·km·nm
780	1,31				
790	1,37				
800	1,44	1 000	3,54	1 400	23,18
810	1,50	1 010	3,71	1 410	21,15
820	1,57	1 020	3,90	1 420	19,49
830	1,64	1 030	4,09	1 430	18,09
840	1,72	1 040	4,30	1 440	16,90
850	1,79	1 050	4,52	1 450	15,87
860	1,88	1 060	4,76	1 460	14,98
870	1,96	1 070	5,02	1 470	14,20
880	2,05	1 080	5,30	1 480	13,50
890	2,14	1 090	5,60	1 490	12,89
900	2,24	1 100	5,92	1 500	12,33
910	2,34	1 110	6,27	1 510	11,83
920	2,45	1 120	6,65	1 520	11,37
930	2,56	1 130	7,07	1 530	10,96
940	2,68	1 140	7,53	1 540	10,58
950	2,80	1 150	8,03	1 550	10,23
960	2,93	1 160	8,59	1 560	9,91
970	3,07	1 170	9,22	1 570	9,61
980	3,22	1 180	9,92	1 580	9,34
990	3,37	1 190	10,71	1 590	9,08
				1 600	8,84

NOTE Hypothèses utilisées:

- $S_0 = 0,09562 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$
- $\lambda_0 = 1344,5 \text{ nm}$  pour MMF nominal avec 0,29 ON (ouverture numérique)

où

$S_0$  est la pente de dispersion à la valeur de  $\lambda_0$ ;

$\lambda_0$  est la longueur d'onde à dispersion nulle;

MMF est la fibre multimodale.

## A.2 Limite de dispersion intermodale normalisée, NIDL

La largeur de bande maximale qui peut être fournie par un appareillage d'essai est limitée par la limite de dispersion intermodale normalisée (NIDL). La NIDL est calculée pour chaque longueur d'onde de mesure d'un appareillage d'essai selon 4.1.3, en utilisant les valeurs IDF prises au Tableau A.1. La largeur spectrale de la source utilisée dans le calcul peut être soit une valeur maximale pour le dispositif comme spécifié par le fabricant d'appareils soit, de préférence, une valeur mesurée.

<sup>3</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

**Table A.1 – Highest expected dispersion values [1]<sup>3</sup>**

$\lambda$ nm	IDF GHz·km·nm	$\lambda$ nm	IDF GHz·km·nm	$\lambda$ nm	IDF GHz·km·nm
780	1,31				
790	1,37				
800	1,44	1 000	3,54	1 400	23,18
810	1,50	1 010	3,71	1 410	21,15
820	1,57	1 020	3,90	1 420	19,49
830	1,64	1 030	4,09	1 430	18,09
840	1,72	1 040	4,30	1 440	16,90
850	1,79	1 050	4,52	1 450	15,87
860	1,88	1 060	4,76	1 460	14,98
870	1,96	1 070	5,02	1 470	14,20
880	2,05	1 080	5,30	1 480	13,50
890	2,14	1 090	5,60	1 490	12,89
900	2,24	1 100	5,92	1 500	12,33
910	2,34	1 110	6,27	1 510	11,83
920	2,45	1 120	6,65	1 520	11,37
930	2,56	1 130	7,07	1 530	10,96
940	2,68	1 140	7,53	1 540	10,58
950	2,80	1 150	8,03	1 550	10,23
960	2,93	1 160	8,59	1 560	9,91
970	3,07	1 170	9,22	1 570	9,61
980	3,22	1 180	9,92	1 580	9,34
990	3,37	1 190	10,71	1 590	9,08
				1 600	8,84

NOTE Assumptions used:

- $S_0 = 0,09562 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$
- $\lambda_0 = 1344,5 \text{ nm}$  for nominal MMF with 0,29 NA

where

$S_0$  is  $\lambda_0$  dispersion slope;

$\lambda_0$  is the zero-dispersion wavelength;

MMF is the multimode fibre

## A.2 Normalized intermodal dispersion limit, NIDL

The maximum bandwidth that can be reported by a test set is limited by the normalized intermodal dispersion limit (NIDL). The NIDL is calculated for each measurement wavelength of a test set according to 4.1.3, using IDF values taken from Table A.1. The source spectral width used in the calculation may be either a maximum value for the device as specified by the device manufacturer or, preferably, a measured value.

<sup>3</sup> The figures in square brackets refer to the Bibliography.

Etant donné que la NIDL est fondée sur la IDF, une largeur de bande mesurée, normalisée en longueur égale à la NIDL est de 10 % inférieure à la largeur de bande intermodale réelle. L'erreur diminue pour les largeurs de bande mesurées inférieures à la NIDL et augmente rapidement au-delà de celle-ci. L'erreur réelle sera typiquement inférieure de quelques pour cents à ceci car la dispersion réelle de l'échantillon en essai sera inférieure à la valeur utilisée dans l'IDF et la largeur spectrale de source peut être exagérée. Compte tenu de ces approximations et de l'instabilité spectrale de la source, la correction de la dispersion chromatique n'est pas appropriée.

La NIDL n'est pas définie pour les longueurs d'onde comprises entre 1200 et 1400 nm car la dispersion intramodale des mesures de fibre est négligeable lorsqu'elle est utilisée avec les lasers dans cette gamme.

### A.3 Dérivation de l'IDF

Pour la dérivation de l'IDF, on part de l'hypothèse selon laquelle les éléments suivants ont des distributions Gaussiennes:

- a) élargissement de l'impulsion temporelle chromatique et modale,  $D_{\text{chrom}}$  et  $D_{\text{modal}}$ , respectivement;
- b) toutes les réponses fréquentielles (amplitudes);
- c) le spectre de la source optique, exprimé comme  $\Delta\lambda_s$  (nm, FWHM).

La relation entre la dispersion et la largeur de bande est exprimée comme suit:

$$D = \frac{k}{BW} \tag{A.1}$$

où  $k = 187$  pour la dispersion RMS en ps et largeur de bande -3 dB en GHz. En prenant l'hypothèse selon laquelle la dispersion chromatique et la dispersion modale sont indépendantes, la dispersion totale (mesurée),  $D_{\text{meas}}$ , peut s'écrire comme suit:

$$D_{\text{meas}} = \sqrt{D_{\text{chrom}}^2 + D_{\text{modal}}^2} \tag{A.2}$$

La combinaison de (A.1) et (A.2) donne le résultat suivant:

$$\left[ \frac{BW_{\text{meas}}^2}{BW_{\text{chrom}}^2} \right] + \left[ \frac{BW_{\text{meas}}^2}{BW_{\text{modal}}^2} \right] = 1 \tag{A.3}$$

Soit  $\Sigma$  représentant une erreur de mesure causée par la dispersion chromatique telle que

$$BW_{\text{meas}} = (1 - \Sigma) BW_{\text{modal}} \tag{A.4}$$

La largeur de bande chromatique (en GHz) peut être calculée comme suit:

$$BW_{\text{chrom}} = \frac{440}{D(\lambda)L\Delta\lambda_s} \tag{A.5}$$

où  $D(\lambda)$  est le coefficient de dispersion chromatique de la fibre (en ps/nm.km) à la longueur d'onde  $\lambda$ , et  $L$  est la longueur de fibre en km.  $D(\lambda)$  est définie dans la CEI 60793-1-42.

Since NIDL is based on the IDF, a measured, length-normalized bandwidth equal to the NIDL is 10 % less than the actual intermodal bandwidth. The error decreases for measured bandwidths less than the NIDL, and rapidly increases above it. The actual error will typically be a few percent less than this because the actual dispersion of the test sample will be less than the value used in the IDF, and the source spectral width may be overstated. Because of these approximations and source spectral instability, correction for chromatic dispersion is not appropriate.

NIDL is not defined for wavelengths from 1200 to 1400 nm because intramodal dispersion in fibre measurements is negligible when used with lasers in this range.

### A.3 Derivation of the IDF

For the derivation of IDF, the following have been assumed to have Gaussian distributions:

- chromatic and modal temporal pulse broadening,  $D_{\text{chrom}}$  and  $D_{\text{modal}}$ , respectively;
- all frequency responses (amplitudes);
- the optical source spectrum, expressed as  $\Delta\lambda_s$  (nm, FWHM).

The relationship between dispersion and bandwidth is expressed as:

$$D = \frac{k}{BW} \quad (\text{A.1})$$

where  $k = 187$  for RMS dispersion in ps and  $-3$  dB bandwidth in GHz. Assuming that the chromatic and modal dispersion are independent, the total (measured) dispersion,  $D_{\text{meas}}$ , can be written:

$$D_{\text{meas}} = \sqrt{D_{\text{chrom}}^2 + D_{\text{modal}}^2} \quad (\text{A.2})$$

Combining (A.1) and (A.2) produces the following result:

$$\left[ \frac{BW_{\text{meas}}^2}{BW_{\text{chrom}}^2} \right] + \left[ \frac{BW_{\text{meas}}^2}{BW_{\text{modal}}^2} \right] = 1 \quad (\text{A.3})$$

Let  $\Sigma$  represent an error in the measurement caused by chromatic dispersion such that

$$BW_{\text{meas}} = (1 - \Sigma) BW_{\text{modal}} \quad (\text{A.4})$$

The chromatic bandwidth (in GHz) can be calculated as:

$$BW_{\text{chrom}} = \frac{440}{D(\lambda)L\Delta\lambda_s} \quad (\text{A.5})$$

where  $D(\lambda)$  is the fibre chromatic dispersion coefficient (in ps/nm-km) at wavelength  $\lambda$ , and  $L$  is fibre length in km.  $D(\lambda)$  is defined in IEC 60793-1-42.

La combinaison de (A.3), (A.4) et (A.5) donne la définition de l'IDF:

$$IDF = BW_{\text{meas}} L \Delta \lambda_s = \frac{440 \sqrt{2\varepsilon - \varepsilon^2}}{D(\lambda)} \quad (\text{A.6})$$

Spécifiquement, pour  $\varepsilon = 0,1$  (10 % erreur),

$$IDF = \frac{192}{D(\lambda)} \quad (\text{A.7})$$

où

$IDF$  est en GHz·km·nm;

$D(\lambda)$  est en ps/nm·km.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-41:2003  
Withdrawn

Combining (A.3), (A.4) and (A.5) provides the definition of IDF:

$$IDF = BW_{\text{meas}} L \Delta \lambda_s = \frac{440 \sqrt{2\varepsilon - \varepsilon^2}}{D(\lambda)} \quad (\text{A.6})$$

Specifically, for  $\varepsilon = 0,1$  (10 % error),

$$IDF = \frac{192}{D(\lambda)} \quad (\text{A.7})$$

where

$IDF$  is in GHz·km·nm;

$D(\lambda)$  is in ps/nm·km.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-41:2003  
Withdrawn

## Annexe B (normative)

### Fonction de transfert de fibre, $H(f)$

La mesure du domaine temporel commence avec l'impulsion d'entrée,  $a(t)$ , et l'impulsion de sortie,  $b(t)$ . Les transformées de Fourier d'impulsion d'entrée et d'impulsion de sortie de fibre doivent être calculées et normalisées à la valeur de fréquence nulle en utilisant la formule suivante.

$$A(f) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} a(t)e^{-j2\pi ft} dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} a(t) dt} \quad (\text{B.1})$$

$$B(f) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} b(t)e^{-j2\pi ft} dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} b(t) dt} \quad (\text{B.2})$$

où

$a(t)$  est l'impulsion temporelle d'entrée,

$b(t)$  est l'impulsion temporelle de sortie,

$A(f)$  est la transformée de Fourier normalisée de l'impulsion d'entrée, et

$B(f)$  est la transformée de Fourier normalisée de l'impulsion de sortie de la fibre.

Pour la méthode du domaine temporel, la fonction de transfert de la fibre doit être calculée comme suit:

$$H(f) = \frac{B(f)}{A(f)} \quad (\text{B.3})$$

Pour la méthode du domaine fréquentiel, le calcul de la réponse fréquentielle,  $H(f)$ , peut être simplifié comme suit:

$$H(f) = \text{Log}_{10} \left[ \frac{P_{\text{out}}(f)}{P_{\text{in}}(f)} \right] \quad (\text{B.4})$$

où

$P_{\text{in}}(f)$  est la réponse fréquentielle d'entrée mesurée en 6.2.2 et

$P_{\text{out}}(f)$  est la réponse fréquentielle de sortie mesurée en 6.2

La fréquence  $-3$  dB (puissance optique),  $f_{3 \text{ dB}}$ , doit être déterminée comme la fréquence la plus faible à laquelle  $|H(f)| = 0,5$ .

## Annex B (normative)

### Fibre transfer function, $H(f)$

The time domain measurement begins with the input pulse,  $a(t)$ , and the output pulse,  $b(t)$ . The input pulse and fibre output pulse Fourier transforms shall be calculated and normalized to the zero frequency value using the following formula.

$$A(f) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} a(t)e^{-j2\pi ft} dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} a(t) dt} \quad (\text{B.1})$$

$$B(f) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} b(t)e^{-j2\pi ft} dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} b(t) dt} \quad (\text{B.2})$$

where

$a(t)$  is the temporal input pulse,

$b(t)$  is the temporal output pulse,

$A(f)$  is the normalized input pulse Fourier transform, and

$B(f)$  is the normalized fibre output pulse Fourier transform.

For the time domain method, the fibre transfer function shall be calculated as:

$$H(f) = \frac{B(f)}{A(f)} \quad (\text{B.3})$$

For the frequency domain method, the frequency response,  $H(f)$ , calculation may be simplified to the following:

$$H(f) = \text{Log}_{10} \left[ \frac{P_{\text{out}}(f)}{P_{\text{in}}(f)} \right] \quad (\text{B.4})$$

where

$P_{\text{in}}(f)$  is the input frequency response measured in 6.2.2, and

$P_{\text{out}}(f)$  is the output frequency response measured in 6.2

The –3 dB (optical power) frequency,  $f_{3\text{dB}}$ , shall be determined as the lowest frequency at which  $|H(f)| = 0,5$ .

## Annexe C (normative)

### Calculs pour d'autres méthodes de présentation

#### C.1 Réponse impulsionnelle de fibre, $h(t)$

La réponse impulsionnelle de la fibre en essai,  $h(t)$ , doit être calculée comme suit

$$h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(f)e^{j2\pi ft} df \quad (\text{C.1})$$

où  $H(f)$  est la fonction de transfert de fibre complexe (voir Annexe B).

NOTE Pour réaliser ce calcul pour les mesures du domaine fréquentiel, Méthode B, il faut que les informations de phase soient également collectées pour les calculs précis des réponses impulsionnelles. Ceci peut être réalisé par l'utilisation d'un analyseur de réseau électrique plutôt qu'un analyseur de spectre électrique.

#### C.2 Réponse impulsionnelle RMS, méthode exacte

L'élargissement d'impulsion RMS (efficace) doit être calculé à partir de la réponse impulsionnelle de la fibre en essai,  $h(t)$  (Article C.1), comme:

$$\sigma_{\text{rms}} = (C_2 - C_1)^{1/2} \quad (\text{C.2})$$

avec

$$C_n = \int_0^{+\infty} t^n h(t) dt \quad (\text{C.3})$$

où

$n = 0, 1, 2, \dots$

#### C.3 Réponse impulsionnelle RMS, différence de l'approximation des carrés

La réponse impulsionnelle RMS doit être calculée sur la base de la différence en valeur efficace (rms) des impulsions d'entrée et de sortie comme suit:

$$\sigma_{\text{rms}} = [\sigma_B^2 - \sigma_A^2]^{1/2} \quad (\text{C.4})$$

où

$\sigma_B$  est la largeur d'impulsion de sortie de la fibre en valeur efficace (rms),

$\sigma_A$  est la largeur d'impulsion d'entrée en valeur efficace (rms).

$\sigma_A$  et  $\sigma_B$  doivent être calculés selon les équations (C.2) et (C.3), où  $h(t)$  est remplacé par  $a(t)$  et  $b(t)$  pour  $\sigma_A$  et  $\sigma_B$ , respectivement.

## Annex C (normative)

### Calculations for other reporting methods

#### C.1 Fibre impulse response, $h(t)$

The impulse response of the test fibre,  $h(t)$ , shall be calculated as

$$h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(f)e^{j2\pi ft} df \quad (\text{C.1})$$

where  $H(f)$  is the complex fibre transfer function (see Annex B).

NOTE In order to perform this calculation for frequency domain measurements, Method B, phase information must also be gathered for accurate impulse response calculations. This may be accomplished by the use of an electrical network analyzer rather than an electrical spectrum analyzer.

#### C.2 RMS impulse response, exact method

The RMS pulse broadening shall be calculated from the test fibre impulse response,  $h(t)$  (Clause C.1.), as:

$$\sigma_{\text{rms}} = (C_2 - C_1^2)^{1/2} \quad (\text{C.2})$$

with

$$C_n = \int_0^{+\infty} t^n h(t) dt \quad (\text{C.3})$$

where

$n = 0, 1, 2, \dots$

#### C.3 RMS impulse response, difference of squares approximation

The RMS impulse response shall be calculated on the basis of the root mean square difference of input and output pulses as:

$$\sigma_{\text{rms}} = [\sigma_B^2 - \sigma_A^2]^{1/2} \quad (\text{C.4})$$

where

$\sigma_B$  is the rms fibre output pulse width,

$\sigma_A$  is the rms input pulse width.

$\sigma_A$  and  $\sigma_B$  shall be calculated according to Equations (C.2) and (C.3). where,  $h(t)$  is replaced by  $a(t)$  and  $b(t)$  for  $\sigma_A$  and  $\sigma_B$ , respectively.

## **Annexe D** (informative)

### **Comparaison entre cette méthode d'essai et les prescriptions de l'UIT**

La Recommandation UIT-T G.651 [6] définit spécifiquement la méthode d'essai de référence comme la méthode d'essai du domaine temporelle ou du domaine fréquentiel. En conséquence, la présente méthode est équivalente à la RTM de l'UIT. Il existe toutefois des différences de prescriptions techniques et de présentation .

La Recommandation G.651 suggère que la courbe de réponse fréquentielle entière doit aussi être fournie, ce qui n'est pas exigé par la présente méthode. Elle permet également l'application d'une fonction d'adaptation s'appliquant à la courbe d'amplitude de réponse fréquentielle, pour laquelle il n'y a pas de disposition dans cette méthode.

Les restrictions d'injection utilisées couramment dans la pratique, peuvent néanmoins généralement ne pas satisfaire aux exigences indiquées ci-dessus (Recommandation UIT-T G.651) .

Il n'existe actuellement pas de document connu en cours d'établissement qui affecte le statut de la recommandation UIT applicable.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-41:2003

## Annex D (informative)

### Comparison between this test method and ITU requirements

Recommendation ITU-T G.651[6] defines the reference test method as either the time or frequency domain test methods. Consequently, this method is equivalent to the ITU RTM. There are technical and reporting requirement differences, however.

Recommendation G.651 suggests that the entire frequency response curve should also be given, which is not required by this method. It also allows a fitting function to be applied to the frequency response amplitude curve, for which there is no provision in this method.

Launch restrictions commonly used in practice, however, may not generally meet the requirement quoted above (Recommendation ITU-T G.651).

There are no known documents in process at this time that affect the status of the applicable ITU recommendation.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-41:2003

Withdrawing

## **Annexe E** (informative)

### **Prescriptions d'embrouilleur de modes pour les conditions d'injection saturées sur les fibres multimodales**

#### **E.1 Introduction**

Cette procédure décrit les conditions d'injection de lumière dans la fibre en essai pour obtenir une injection saturée uniforme avec une diode laser ou d'autres sources lumineuses. Les conditions d'injection de lumière sont établies par l'intermédiaire de l'utilisation de l'embrouilleur de modes. L'embrouilleur de modes est positionné entre la source de lumière et la fibre en essai pour produire une distribution de rayonnement qui sature le cœur de la fibre en essai et l'ouverture numérique, sans tenir compte des propriétés de rayonnement spatial de la source lumineuse.

Pour beaucoup de conceptions d'embrouilleur de modes, cependant, les conditions d'injection produites dépendent de l'alignement de la source/de l'embrouilleur de modes et de l'interaction avec toute optique intermédiaire, telle que des connecteurs ou des systèmes d'imagerie optique. Si la source ou tout composant du système optique est modifié, il faut répéter les essais de qualification. Lorsqu'elle est appliquée aux mesures de la capacité de transmission de l'information, l'injection saturée offre une bonne reproductibilité de mesure; elle n'est pas destinée à donner nécessairement la meilleure prédiction de largeur de bande pour les longueurs concaténées. De même, une combinaison particulière de source lumineuse /d'embrouilleur de modes peut être satisfaisante pour une fibre en essai de diamètre de cœur et ouverture numérique donnés, mais pas pour une autre.

#### **E.2 Appareillage**

##### **E.2.1 Source lumineuse**

Utiliser une source lumineuse telle qu'une diode laser.

##### **E.2.2 Embrouilleur de modes**

Un "embrouilleur de modes" est un dispositif qui est positionné entre la source lumineuse et la fibre en essai pour contrôler les conditions d'injection. Une conception particulière d'embrouilleur de modes n'est pas spécifiée. Il convient d'insister sur le fait que la performance de ces embrouilleurs dépend de l'optique d'injection et des dimensions des fibres (cœur et ouverture numérique) utilisés dans la construction réelle.

Deux exemples de conception d'embrouilleur de modes sont donnés à la Figure E.1 à des fins d'illustration uniquement. D'autres conceptions peuvent également donner satisfaction.

##### **E.2.2.1 Saut-indice-saut**

L'embrouilleur de modes de la Figure E.1a est une combinaison de séries de longueurs de 1 m de fibres à saut, à gradient d'indice et à saut d'indice épissurées ensemble. Pour les informations concernant la fabrication des embrouilleurs de modes selon la conception saut-gradient-saut, voir la bibliographie [1] et [2].

## **Annex E** (informative)

### **Mode scrambler requirements for overfilled launching conditions to multimode fibres**

#### **E.1 Introduction**

This procedure describes light launch conditions to the test fibre for the purpose of achieving a uniform overfilled launch with a laser diode or other light sources. Light launch conditions are established through the use of a mode scrambler. The mode scrambler is positioned between the light source and test fibre to produce a radiation distribution overfilling the test fibre core and numerical aperture, irrespective of the spatial radiation properties of the light source.

For many mode scrambler designs, however, the launching conditions produced depend on the source/mode scrambler alignment and the interaction with any intermediary optics such as connectors or optical imaging systems. If the source or any component in the optical system is changed, the qualification tests must be repeated. When applied to information transmission capacity measurements, the overfilled launch gives good measurement reproducibility; it is not intended to necessarily give the best bandwidth prediction for concatenated lengths. Also, a particular light source/mode scrambler combination may be satisfactory for one size core diameter and numerical aperture test fibre, but not for another.

#### **E.2 Apparatus**

##### **E.2.1 Light source**

Use a light source such as a laser diode.

##### **E.2.2 Mode scrambler**

A “mode scrambler” is a device, which is positioned between the light source and test fibre to control launching conditions. A particular mode scrambler design is not specified. It should be emphasized that the performance of these scramblers depends upon the launch optics and fibre sizes (core and NA) used in the actual construction.

Mode scrambler examples: Two designs are given for illustration purposes only. Other designs may perform as well.

##### **E.2.2.1 Step-graded-step**

The mode scrambler in Figure E1(a) is a series combination of 1 m lengths of step, graded, and step index fibres spliced together. For information concerning fabrication of mode scramblers according to the step-graded-step design, see the Bibliography [1] and [2].

### **E.2.2.2 Saut avec courbures**

L'embrouilleur de modes de la Figure E.1b utilise une longueur unique de fibre à saut d'indice. Voir A.1.3 et A.1.4 de l'Annexe A de la CEI 60793-1-40 [7]. Dans certains cas, des courbures avec ondulations macroscopiques ou en enroulement sur plusieurs tours de la fibre à saut d'indice autour d'un mandrin rendra l'embrouilleur de modes moins sensible à l'alignement de la diode laser.

### **E.2.3 Appareillage d'essai pour la qualification de l'embrouilleur de modes**

Pour la qualification de l'embrouilleur de modes, il est nécessaire de mesurer les diagrammes de rayonnement en champ proche et en champ lointain de la sortie de l'embrouilleur de modes lorsqu'il est couplé à la source lumineuse de E.2.1. L'appareillage d'essai approprié est décrit dans la CEI 60793-1-20 et la CEI 60793-1-43. Si les essais de qualification sont réalisés sur une image de la sortie de l'embrouilleur de modes, l'appareillage d'essai approprié peut être différent de celui décrit dans la CEI 60793-1-20 et la CEI 60793-1-43.

### **E.2.4 Dispositif/Optique de micro-positionnement**

L'appareillage pour coupler la lumière entre l'embrouilleur de modes jusqu'à la fibre en essai est nécessaire. Il peut s'agir d'un micropositionneur avec un équipement optique pour créer l'image de la sortie de l'embrouilleur de modes à l'extrémité d'entrée de la fibre en essai. En variante, une épissure temporaire pour coupler bout à bout la sortie de l'embrouilleur de modes à l'extrémité d'entrée de la fibre en essai peut être utilisée.

### **E.2.5 Extracteurs de modes de gaine**

Si l'embrouilleur de modes est utilisé dans les applications où l'affaiblissement de la fibre est mesuré, appliquer un extracteur de modes de gaine à la fibre en essai à moins que le revêtement protecteur de la fibre ne soit suffisant pour extraire la lumière de la gaine.

## **E.3 Echantillonnage et échantillons en essai**

L'échantillon en essai comprend la source optique et le dispositif d'embrouilleur de modes. Des dispositifs de positionnement sont également inclus ainsi que des équipements optiques associés comme des connecteurs et des systèmes d'imagerie optique et la fibre devant être utilisée dans le système de mesure.

## **E.4 Procédure**

### **E.4.1 Qualification de l'embrouilleur de mode**

L'embrouilleur de modes, quelle que soit sa conception, doit être suffisant pour reproduire de manière fiable les conditions d'injection de E.4.1.1, E.4.1.2 et E.4.1.3 sur la fibre en essai. Si les conditions d'injection sur la fibre en essai restent suffisamment stables pour satisfaire aux conditions d'injection prescrites pour toutes les mesures ultérieures, les essais de qualification n'ont pas à avoir lieu in situ et ne doivent pas être exigés pour chaque essai utilisant l'embrouilleur de modes. Une telle stabilité peut être obtenue, par exemple, par l'utilisation de fibres amorces ou en connectant de manière permanente la source à l'embrouilleur de modes. Pour beaucoup de conceptions d'embrouilleur de modes, cependant, les conditions d'injection produites dépendent de l'alignement de la source/de l'embrouilleur de modes et l'interaction avec toute optique intermédiaire, telle que des connecteurs ou des systèmes d'imagerie optique. Si la source ou tout composant du système optique est modifié, les essais de qualification doivent être répétés.