

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60793-2-10

Deuxième édition
Second edition
2004-11

Fibres optiques –

**Partie 2-10:
Spécifications de produits –
Spécification intermédiaire pour
les fibres multimodales de catégorie A1**

Optical fibres –

**Part 2-10:
Product specifications –
Sectional specification for category A1
multimode fibres**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60793-2-10:2004

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

- **Site web de la CEI (www.iec.ch)**
- **Catalogue des publications de la CEI**
Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.
- **IEC Just Published**
Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.
- **Service clients**
Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch

Tél: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

- **IEC Web Site (www.iec.ch)**
- **Catalogue of IEC publications**
The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. Online information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.
- **IEC Just Published**
This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.
- **Customer Service Centre**
If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch

Tel: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60793-2-10

Deuxième édition
Second edition
2004-11

Fibres optiques –

**Partie 2-10:
Spécifications de produits –
Spécification intermédiaire pour
les fibres multimodales de catégorie A1**

Optical fibres –

**Part 2-10:
Product specifications –
Sectional specification for category A1
multimode fibres**

© IEC 2004 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

**CODE PRIX
PRICE CODE**

W

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	10
3 Spécifications	14
3.1 Exigences dimensionnelles	14
3.2 Exigences mécaniques	16
3.3 Exigences de transmission	16
3.4 Exigences d'environnement	22
Annexe A (normative) Spécifications de famille pour les fibres multimodales de type A1a	28
Annexe B (normative) Spécifications de famille pour fibres multimodales de type A1b	32
Annexe C (normative) Spécifications de famille pour fibres multimodales de type A1d	36
Annexe D (normative) Exigences de longueur d'onde centrale et de flux encerclé (EF) pour l'émetteur, de retard différentiel de mode de la fibre (DMD), et de largeur de bande modale effective calculée (EMBc)	40
Annexe E (informative) Applications supportées par les fibres de catégorie A1	64
Annexe F (informative) Applications Ethernet 1-Gigabit et 10-Gigabit	70
Annexe G (informative) Indications préliminaires pour les éléments qui nécessitent une étude ultérieure	74
Bibliographie	78
Figure 1 – Exigence relative à la dispersion chromatique – Catégorie A1	18
Figure 2 – Relation entre les largeurs de bande à 850 nm et à 1 300 nm	22
Figure D.1 – Exigences de DMD	42
Tableau 1 – Attributs dimensionnels et méthodes de mesure	14
Tableau 2 – Exigences communes aux fibres de catégorie A1	14
Tableau 3 – Attributs additionnels exigés dans les spécifications de famille	16
Tableau 4 – Attributs mécaniques et méthodes de mesure	16
Tableau 5 – Exigences communes aux fibres de catégorie A1	16
Tableau 6 – Attributs de transmission et méthodes de mesure	18
Tableau 7 – Exigences communes aux fibres de catégorie A1	18
Tableau 8 – Attributs additionnels exigés dans les spécifications de famille	20
Tableau 9 – Essais d'exposition à l'environnement	22
Tableau 10 – Attributs mesurés	22
Tableau 11 – Force de dénudage pour les essais d'environnement	24
Tableau 12 – Résistance à la traction pour les essais d'environnement	24
Tableau 13 – Résistance à la corrosion sous contrainte pour les essais d'environnement	24
Tableau 14 – Variation de l'affaiblissement pour les essais d'environnement	26

CONTENTS

FOREWORD	7
1 Scope	11
2 Normative references	11
3 Specifications	15
3.1 Dimensional requirements	15
3.2 Mechanical requirements.....	17
3.3 Transmission requirements.....	17
3.4 Environmental requirements	23
Annex A (normative) Family specifications for A1a multimode fibres	29
Annex B (normative) Family specifications for A1b multimode fibres	33
Annex C (normative) Family specifications for A1d multimode fibres.....	37
Annex D (normative) Transmitter centre wavelength and encircled flux (EF), fibre differential mode delay (DMD) and calculated effective modal bandwidth (EMBc) requirements.....	41
Annex E (informative) Applications supported by A1 fibres.....	65
Annex F (informative) 1-Gigabit and 10-Gigabit Ethernet applications	71
Annex G (informative) Preliminary indications for items needing further study.....	75
Bibliography.....	79
Figure 1 – Category A1 chromatic dispersion requirement	19
Figure 2 – Relation between bandwidths at 850 nm and 1 300 nm	23
Figure D-1 – DMD requirements.....	43
Table 1 – Dimensional attributes and measurement methods	15
Table 2 – Requirements common to category A1 fibres	15
Table 3 – Additional attributes required in the family specifications	17
Table 4 – Mechanical attributes and test methods.....	17
Table 5 – Requirements common to category A1 fibres	17
Table 6 – Transmission attributes and measurement methods	19
Table 7 – Requirements common to category A1 fibres	19
Table 8 – Additional attributes required in family specifications.....	21
Table 9 – Environmental exposure tests.....	23
Table 10 – Attributes measured	23
Table 11 – Strip force for environmental tests	25
Table 12 – Tensile strength for environmental tests	25
Table 13 – Stress corrosion susceptibility for environmental tests	25
Table 14 – Change in attenuation for environmental tests	27

Tableau A.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres de type A1a	28
Tableau A.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres de type A1a.....	28
Tableau A.3 – Exigences de transmission spécifiques aux fibres de type A1a.....	30
Tableau B.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres de type A1b	32
Tableau B.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres de type A1b.....	32
Tableau B.3 – Exigences de transmission spécifiques aux fibres de type A1b.....	34
Tableau C.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres de type A1d	36
Tableau C.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres de type A1d	36
Tableau C.3 – Exigences de transmission spécifiques aux fibres de type A1d.....	38
Tableau D.1 – Modèles de DMD.....	42
Tableau D.2 – Masques d'intervalle de DMD	44
Tableau D.3 – Pondérations de DMD	48
Tableau E.1 – Certaines applications normalisées au niveau international supportées par les fibres de type A1a et A1b	64
Tableau E.2 – Spécifications de largeurs de bande à usage commercial typiquement utilisées pour les fibres multimodales de type A1a et A1b à gradient d'indice.....	66
Tableau E.3 – Tableau de correspondance des types de fibres et de cellule de largeur de bande de la présente norme et de l'ISO/IEC 11801.....	68
Tableau F.1 – Aperçu des exigences et des capacités de l'Ethernet 1 et 10 Gb/s.	72

IECNORM.COM : Click to view the full PDF

Table A.1 – Dimensional requirements specific to A1a fibres	29
Table A.2 – Mechanical requirements specific to A1a fibres	29
Table A.3 – Transmission requirements specific to A1a fibres	31
Table B.1 – Dimensional requirements specific to A1b fibres	33
Table B.2 – Mechanical requirements specific to A1b fibres	33
Table B.3 – Transmission requirements specific to A1b fibres	35
Table C.1 – Dimensional requirements specific to A1d fibres	37
Table C.2 – Mechanical requirements specific to A1d fibres	37
Table C.3 – Transmission requirements specific to A1d fibres	39
Table D.1 – DMD templates	43
Table D.2 – DMD interval masks	45
Table D.3 – DMD weightings	49
Table E.1 – Some internationally standardised applications supported by A1a and A1b fibres	65
Table E.2 – Typically used commercial bandwidth specifications for A1a and A1b graded-index multimode fibres	67
Table E.3 – Cross reference table of fibre types and bandwidth cells for this standard and ISO/IEC 11801	69
Table F.1 – Summary of 1 and 10 Gb/s Ethernet requirements and capabilities	73

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FIBRES OPTIQUES –

Partie 2-10: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de catégorie A1

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60793-2-10 a été établie par le sous-comité 86A: Fibres et câbles, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition, parue en 2002, dont elle constitue une révision technique. Les principales différences par rapport à l'édition précédente résident d'une part dans l'ajout des exigences d'essai d'environnement, d'autre part dans l'ajout de la fibre de type A1a.2 (50/125 µm), pour prendre en charge les applications de 10 Gb/s.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

OPTICAL FIBRES –**Part 2-10: Product specifications –
Sectional specification for category A1 multimode fibres****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60793-2-10 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 2002, of which it constitutes a technical revision. It adds to the previous edition environmental test requirements and A1a.2 (50/125 µm) fibre to support 10 Gb/s applications.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86A/966/FDIS	86A/973/RVD

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

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

La CEI 60793-2 comprend les parties suivantes, sous le titre général *Fibres optiques – Spécifications de produits*:

- Partie 2-10: Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de catégorie A1;
- Partie 2-20: Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de catégorie A2;
- Partie 2-30: Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de catégorie A3;
- Partie 2-40: Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de catégorie A4;
- Partie 2-50: Spécification intermédiaire pour les fibres unimodales de classe B.

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

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

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

FDIS	Report on voting
86A/966/FDIS	86A/973/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.

IEC 60793-2 consists of the following parts, under the general title *Optical fibres – Product specifications*:

- Part 2-10: Sectional specification for category A1 multimode fibres
- Part 2-20: Sectional specification for category A2 multimode fibres
- Part 2-30: Sectional specification for category A3 multimode fibres
- Part 2-40: Sectional specification for category A4 multimode fibres
- Part 2-50: Sectional specification for class B single-mode fibres

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full IEC 60793-2-10:2004

FIBRES OPTIQUES –

Partie 2-10: Spécifications de produits – Spécification intermédiaire pour les fibres multimodales de catégorie A1

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60793 est applicable aux fibres optiques de type A1a, A1b et A1d. Ces fibres sont utilisées ou peuvent être intégrées dans des équipements destinés à la transmission de l'information et dans des câbles à fibres optiques.

La fibre de type A1a est une fibre à gradient d'indice de 50/125 µm. Le type A1a.1 (défini dans la précédente édition de la présente norme sous l'appellation A1a) s'applique aux fibres de 50/125 µm, tandis que le type A1a.2 s'applique aux fibres de 50/125 µm optimisées pour injection laser à 850 nm. Le type A1b s'applique aux fibres à gradient d'indice de 62,5/125 µm et le type A1d à celles de gradient d'indice de 100/140 µm.

D'autres applications comprennent, de manière non exhaustive, les systèmes téléphoniques de courtes distances à haut débit, les réseaux de distribution et les réseaux locaux qui transportent des données, la voix et/ou des services vidéo, ainsi que les connexions par fibres intra ou inter bâtiments sur les sites utilisateurs englobant les LAN, les PBX, la vidéo, les différentes utilisations de multiplexage, l'utilisation d'installations du réseau téléphonique externe et les différentes utilisations associées.

Trois types d'exigences s'appliquent à ces fibres:

- les exigences générales, qui sont définies dans la CEI 60793-2;
- des exigences spécifiques communes aux fibres multimodales de catégorie A1, couvertes par la présente norme et qui sont données à l'Article 3;
- des exigences particulières applicables à des types particuliers de fibres ou à des applications spécifiques, qui sont définies dans les spécifications de familles figurant en annexe.

2 Références normatives

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

CEI 60793-1-1:2002, *Fibres optiques – Partie 1-1: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Généralités et guide*

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

CEI 60793-1-21:2001, *Fibres optiques – Partie 1-21: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Géométrie du revêtement*

CEI 60793-1-22:2001, *Fibres optiques – Partie 1-22: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Mesure de la longueur*

OPTICAL FIBRES –

Part 2-10: Product specifications –

Sectional specification for category A1 multimode fibres

1 Scope

This part of IEC 60793 is applicable to optical fibre types A1a, A1b, and A1d. These fibres are used or can be incorporated in information transmission equipment and optical fibre cables.

Type A1a fibre is a 50/125 µm graded index fibre. Type A1a.1 (which was defined in the previous edition of this standard as type A1a) applies to 50/125 µm fibre, while A1a.2 applies to 850 nm laser-optimised 50/125 µm fibre. Type A1b applies to 62.5/125 µm graded index fibre and A1d applies to 100/140 µm graded index fibre.

Other applications include, but are not restricted to, the following: short reach, high bit-rate systems in telephony, distribution and local networks, carrying data, voice and/or video services and on-premises intra-building and inter-building fibre installations, including LANs, PBXs, video, various multiplexing uses, outside telephone cable plant use, and miscellaneous related uses.

Three types of requirements apply to these fibres:

- general requirements, as defined in IEC 60793-2;
- specific requirements common to the category A1 multimode fibres covered in this standard and which are given in Clause 3;
- particular requirements applicable to individual fibre types or specific applications, which are defined in the normative family specification annexes.

2 Normative references

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

IEC 60793-1-1:2002, *Optical fibres – Part 1-1: Measurement methods and test procedures – General and guidance*

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

IEC 60793-1-21:2001, *Optical fibres – Part 1-21: Measurement methods and test procedures – Coating geometry*

IEC 60793-1-22:2001, *Optical fibres – Part 1-22: Measurement methods and test procedures – Length measurement*

CEI 60793-1-30:2001, *Fibres optiques – Partie 1-30: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Essais de sélection*

CEI 60793-1-31:2001, *Fibres optiques – Partie 1-31: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Résistance à la traction*

CEI 60793-1-32:2001, *Fibres optiques – Partie 1-32: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Dénudabilité du revêtement*

CEI 60793-1-33:2001, *Fibres optiques – Partie 1-33: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Résistance à la corrosion sous contrainte*

CEI 60793-1-34:2001, *Fibres optiques – Partie 1-34: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Ondulation*

CEI 60793-1-40:2001, *Fibres optiques – Partie 1-40: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Affaiblissement*

CEI 60793-1-41:2001, *Fibres optiques – Partie 1-41: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Largeur de bande*

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 60793-1-46:2001, *Fibres optiques – Partie 1-46: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Contrôle des variations du facteur de transmission optique*

CEI 60793-1-47:2001, *Fibres optiques – Partie 1-47: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Pertes dues aux macrocourbures*

CEI 60793-1-49:2003, *Fibres optiques – Partie 1-49: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Retard différentiel de mode*

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

CEI 60793-1-51:2001, *Fibres optiques – Partie 1-51: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Chaleur sèche*

CEI 60793-1-52:2001, *Fibres optiques – Partie 1-52: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Variations de température*

CEI 60793-1-53:2001, *Fibres optiques – Partie 1-53: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Immersion dans l'eau*

CEI 60793-2:2003, *Fibres optiques – Partie 2: Spécifications de produits – Généralités*

CEI 60794-2, *Câbles à fibres optiques – Partie 2: Câbles intérieurs – Spécification intermédiaire*

CEI 61280-1-4, *Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques – Partie 1-4: Procédures d'essais des sous-systèmes généraux de télécommunication – Recueil et réduction de données à deux dimensions de champs proches pour les émetteurs lasers à fibres multimodales (Disponible en anglais seulement)*

CEI 62048:2002, *Fibres optiques – Fiabilité – Théorie de la loi de puissance*

IEC 60793-1-30:2001, *Optical fibres – Part 1-30: Measurement methods and test procedures – Fibre proof test*

IEC 60793-1-31:2001, *Optical fibres – Part 1-31: Measurement methods and test procedures – Tensile strength*

IEC 60793-1-32:2001, *Optical fibres – Part 1-32: Measurement methods and test procedures – Coating strippability*

IEC 60793-1-33:2001, *Optical fibres – Part 1-33: Measurement methods and test procedures – Stress corrosion susceptibility*

IEC 60793-1-34:2001, *Optical fibres – Part 1-34: Measurement methods and test procedures – Fibre curl*

IEC 60793-1-40:2001, *Optical fibres – Part 1-40: Measurement methods and test procedures – Attenuation*

IEC 60793-1-41:2001, *Optical fibres – Part 1-41: Measurement methods and test procedures – Bandwidth*

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 60793-1-46:2001, *Optical fibres – Part 1-46: Measurement methods and test procedures – Monitoring of changes in optical transmittance*

IEC 60793-1-47:2001, *Optical fibres – Part 1-47: Measurement methods and test procedures – Macrobending loss*

IEC 60793-1-49: 2003, *Optical fibres – Part 1-49: Measurement methods and test procedures – Differential mode delay*

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

IEC 60793-1-51:2001, *Optical fibres – Part 1-51: Measurement methods and test procedures – Dry heat*

IEC 60793-1-52:2001, *Optical fibres – Part 1-52: Measurement methods and test procedures – Change of temperature*

IEC 60793-1-53:2001, *Optical fibres – Part 1-53: Measurement methods and test procedures – Water immersion*

IEC 60793-2:2003, *Optical fibres – Part 2: Product specifications - General*

IEC 60794-2, *Optical fibre cables – Part 2: Indoor cables – Sectional specification*

IEC 61280-1-4 *Fibre optic communication subsystem test procedures – General communication subsystems – Collection and reduction of two-dimensional nearfield data for multimode fibre laser transmitters*

IEC 62048:2002, *Optical fibres – Reliability – Power law theory*

3 Spécifications

La fibre doit être constituée d'un cœur de verre avec un profil à gradient d'indice et d'une gaine de verre conformément à 5.1 de la CEI 60793-2.

Le terme «verre» se réfère habituellement à des matériaux relatifs à des oxydes non métalliques.

3.1 Exigences dimensionnelles

Les attributs dimensionnels et les méthodes de mesure applicables sont donnés dans le Tableau 1.

Les exigences communes à toutes les fibres de catégorie A1 sont données dans le Tableau 2.

Le Tableau 3 énumère les attributs additionnels qui doivent être spécifiés par chaque spécification de famille.

Tableau 1 – Attributs dimensionnels et méthodes de mesure

Attributs	Méthodes de mesure
Diamètre de la gaine	CEI 60793-1-20
Diamètre du cœur	CEI 60793-1-20
Non-circularité de la gaine	CEI 60793-1-20
Non-circularité du cœur	CEI 60793-1-20
Erreur de concentricité entre le cœur et la gaine	CEI 60793-1-20
Diamètre du revêtement primaire	CEI 60793-1-21
Non-circularité du revêtement primaire	CEI 60793-1-21
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	CEI 60793-1-21
Longueur de fibre	CEI 60793-1-22

Tableau 2 – Exigences communes aux fibres de catégorie A1

Attributs	Unité	Limites
Non-circularité du cœur	%	≤6
Diamètre du revêtement primaire – incolore ^b	µm	245 ± 10
Diamètre du revêtement primaire – coloré ^b	µm	250 ± 15
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	µm	≤12,5
Longueur de fibre	km	a

^a Les exigences de longueurs varient et il convient qu'elles fassent l'objet d'un accord entre le fournisseur et le client.

^b Les limites ci-dessus sur le diamètre du revêtement primaire sont plus communément utilisées dans les câbles de télécommunications. Il existe d'autres applications qui utilisent d'autres diamètres, plusieurs d'entre eux sont donnés ci-dessus.
Autres diamètres nominaux et tolérances de revêtement primaire (µm):

400 ± 40
500 ± 50
700 ± 100
900 ± 100

3 Specifications

The fibre shall consist of a glass core with a graded index profile and a glass cladding in accordance with 5.1 in IEC 60793-2.

The term “glass” usually refers to material consisting of non-metallic oxides.

3.1 Dimensional requirements

Dimensional attributes and measurement methods are given in Table 1.

Requirements common to all fibres in category A1 are indicated in Table 2.

Table 3 lists additional attributes that shall be specified by each family specification.

Table 1 – Dimensional attributes and measurement methods

Attributes	Measurement methods
Cladding diameter	IEC 60793-1-20
Core diameter	IEC 60793-1-20
Cladding non-circularity	IEC 60793-1-20
Core non-circularity	IEC 60793-1-20
Core-cladding concentricity error	IEC 60793-1-20
Primary coating diameter	IEC 60793-1-21
Primary coating non-circularity	IEC 60793-1-21
Primary coating-cladding concentricity error	IEC 60793-1-21
Fibre length	IEC 60793-1-22

Table 2 – Requirements common to category A1 fibres

Attributes	Unit	Limits
Core non-circularity	%	≤6
Primary coating diameter – uncoloured ^b	µm	245 ± 10
Primary coating diameter – coloured ^b	µm	250 ± 15
Primary coating-cladding concentricity error	µm	≤12,5
Fibre length	km	^a

^a Length requirements vary and should be agreed between supplier and customer.

^b The above limits on primary coating diameter are most commonly used in telecommunications cables. There are other applications, which use other primary coating diameters, several of which are listed below.
Alternative nominal primary coating diameters and tolerance (µm):

400 ± 40
500 ± 50
700 ± 100
900 ± 100

Tableau 3 – Attributs additionnels exigés dans les spécifications de famille

Attributs
Diamètre de la gaine
Non-circularité de la gaine
Diamètre du cœur
Erreur de concentricité entre le cœur et la gaine

3.2 Exigences mécaniques

Les attributs mécaniques et les méthodes de mesure applicables sont donnés dans le Tableau 4.

Les exigences communes à toutes les fibres de catégorie A1 sont données dans le Tableau 5.

Tableau 4 – Attributs mécaniques et méthodes de mesure

Attributs	Méthodes d'essai
Essais de sélection	CEI 60793-1-30
Résistance à la traction	CEI 60793-1-31
Dénudabilité du revêtement primaire	CEI 60793-1-32
Résistance à la corrosion sous contrainte	CEI 60793-1-33
Ondulation de la fibre	CEI 60793-1-34

Tableau 5 – Exigences communes aux fibres de catégorie A1

Attributs	Unité	Limites
Niveau de contrainte d'essai	GPa	$\geq 0,69^{\text{a}}$
Force de dénudage (moyenne) ^b	N	$1,0 \leq F_{\text{ave.strip}} \leq 5,0$
Force de dénudage (crête) ^b	N	$1,0 \leq F_{\text{peak.strip}} \leq 8,9$

^a La valeur de l'essai de sélection de 0,69 GPa est égale à une contrainte d'environ 1 % ou une force d'environ 8,8 N, pour les fibres de type A1a et A1b. Pour la relation entre ces différentes unités, voir le paragraphe 4.4 de la CEI 62048.

^b Soit la force de dénudage moyenne, soit la force de dénudage de crête, qui sont toutes les deux définies dans la procédure d'essai, peuvent être spécifiées selon accord entre le fournisseur et le client.

3.3 Exigences de transmission

Les attributs de transmission et les méthodes de mesure applicables sont donnés dans le Tableau 6.

Les exigences communes à toutes les fibres de catégorie A1 sont données dans le Tableau 7.

Le Tableau 8 énumère les attributs additionnels qui doivent être spécifiés par chaque spécification de famille.

Table 3 – Additional attributes required in the family specifications

Attributes
Cladding diameter
Cladding non-circularity
Core diameter
Core-cladding concentricity error

3.2 Mechanical requirements

Mechanical attributes and test methods are given in Table 4.

Requirements common to all fibres in category A1 are in Table 5.

Table 4 – Mechanical attributes and test methods

Attributes	Test methods
Proof test	IEC 60793-1-30
Tensile strength	IEC 60793-1-31
Primary coating strippability	IEC 60793-1-32
Stress corrosion susceptibility	IEC 60793-1-33
Fibre curl	IEC 60793-1-34

Table 5 – Requirements common to category A1 fibres

Attributes	Unit	Limits
Proof stress level	GPa	$\geq 0,69$ ^a
Strip force (average) ^b	N	$1,0 \leq F_{\text{ave.strip}} \leq 5,0$
Strip force (peak) ^b	N	$1,0 \leq F_{\text{peak.strip}} \leq 8,9$

^a The proof test value of 0,69 GPa equals about 1 % strain or about 8,8 N force, for A1a and A1b fibres. For the relation between these different units, see 4.4 of IEC 62048.

^b Either average strip force or peak strip force, which are defined in the test procedure, may be specified by agreement between supplier and customer.

3.3 Transmission requirements

Transmission attributes and measurement methods are given in Table 6.

Requirements common to all fibres in category A1 are indicated in Table 7.

Table 8 lists additional attributes that shall be specified by each family specification.

Tableau 6 – Attributs de transmission et méthodes de mesure

Attributs	Méthodes de mesure
Affaiblissement linéique ^a	CEI 60793-1-40
Largeur de bande modale ^a	CEI 60793-1-41
Ouverture numérique	CEI 60793-1-43
Dispersion chromatique	CEI 60793-1-42
Variations du facteur de transmission optique	CEI 60793-1-46
Pertes dues aux macrocourbures	CEI 60793-1-47
Retard différentiel de mode	CEI 60793-1-49

^a Lors de la mesure de l'affaiblissement et de la largeur de bande modale, il convient d'appliquer les conditions d'injection appropriées. Celles-ci peuvent différer de celles qui sont exigées dans les méthodes d'essai auxquelles on fait référence.

Tableau 7 – Exigences communes aux fibres de catégorie A1

Attributs	Unité	Limites
Longueur d'onde de dispersion nulle, λ_0	nm	$1\ 295 \leq \lambda_0 \leq 1\ 365$
Pente de dispersion nulle S_0 – pour $1\ 295 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\ 300 \text{ nm}$ – pour $1\ 300 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\ 348 \text{ nm}$ – pour $1\ 348 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\ 365 \text{ nm}$	$\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$	$D \leq 0,105 + 0,001 (\lambda_0 - 1\ 295)$ $D \leq 0,11$ $D \leq 0,001 (1\ 458 - \lambda_0)$
NOTE Voir la Figure 1 pour une représentation schématique des exigences indiquées dans ce tableau.		

La conformité à l'exigence relative à la dispersion chromatique peut être assurée par la conformité à la spécification d'ouverture numérique.

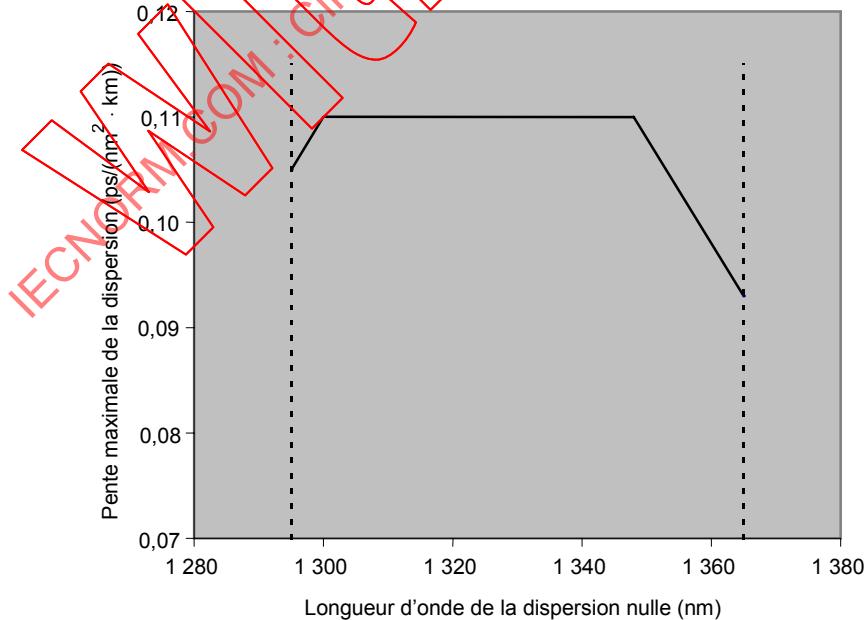
**Figure 1 – Exigence relative à la dispersion chromatique – Catégorie A1**

Table 6 – Transmission attributes and measurement methods

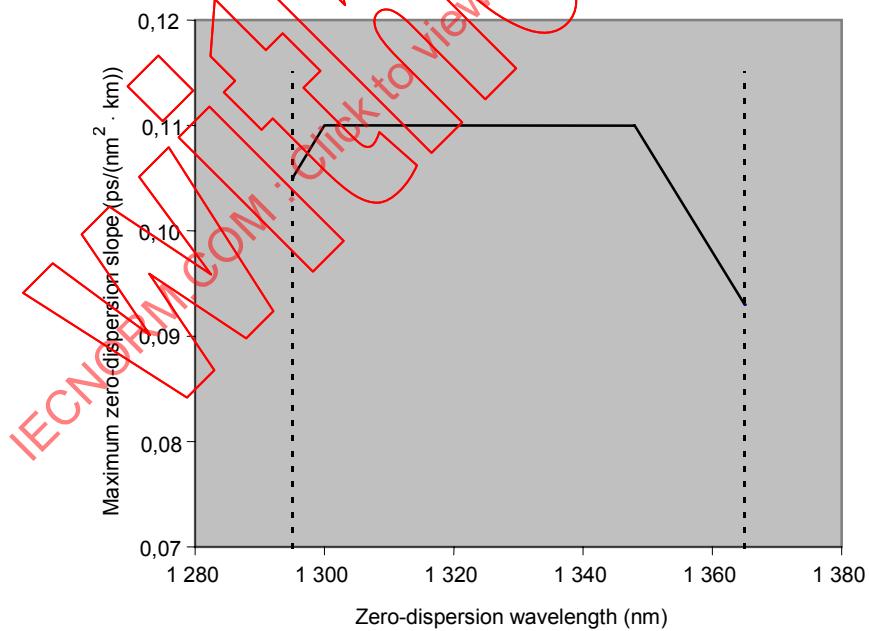
Attributes	Measurement methods
Attenuation coefficient ^a	IEC 60793-1-40
Modal bandwidth ^a	IEC 60793-1-41
Numerical aperture	IEC 60793-1-43
Chromatic dispersion	IEC 60793-1-42
Change of optical transmission	IEC 60793-1-46
Macrobending loss	IEC 60793-1-47
Differential mode delay	IEC 60793-1-49

^a When measuring attenuation and modal bandwidth, the appropriate launching conditions should be applied. These may differ from those prescribed in the test methods to which reference is made.

Table 7 – Requirements common to category A1 fibres

Attributes	Unit	Limits
Zero dispersion wavelength, λ_0	nm	$1\ 295 \leq \lambda_0 \leq 1\ 365$
Zero dispersion slope S_0	$\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$	$D \leq 0,105 + 0,001 (\lambda_0 - 1\ 295)$
– from $1\ 295 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\ 300 \text{ nm}$		$D \leq 0,11$
– from $1\ 300 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\ 348 \text{ nm}$		
– from $1\ 348 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\ 365 \text{ nm}$		$D \leq 0,001 (1\ 458 - \lambda_0)$
NOTE	See Figure 1 for a schematic representation of the requirements of this table.	

Specification compliance of chromatic dispersion can be assured by compliance to the numerical aperture specification.



IEC 073/02

Figure 1 – Category A1 chromatic dispersion requirement

Tableau 8 – Attributs additionnels exigés dans les spécifications de famille

Attributs
Affaiblissement linéique
Largeur de bande modale
Ouverture numérique
Pertes dues aux macrocourbures

Pour l'affaiblissement linéique et la largeur de bande modale, la spécification de famille contient des plages de valeurs qui peuvent être choisies par spécification au lieu des limites fixées. Les valeurs réelles de l'affaiblissement linéique maximal et de la largeur de bande modale minimale, à 850 nm et 1 300 nm (ou juste à l'une de ces longueurs d'onde) doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et le client. Dans un but commercial, la largeur de bande modale est normalisée linéairement à 1 km.

Dans un souci d'information sur la largeur de bande, le Tableau E.1 présente un certain nombre d'applications normalisées à l'échelle internationale, supportées par des fibres de catégorie A1 et le Tableau E.2 donne un nombre (imité) de spécifications de largeurs de bande à usage commercial fréquemment utilisées pour les fibres de type A1a et A1b.

Les valeurs d'affaiblissement maximales indiquées s'appliquent aux fibres optiques non câblées; pour les valeurs d'affaiblissement câblé maximales, on fait référence à la CEI 60794-2, utilisable conjointement avec la présente norme.

Remarques sur la spécification de largeur de bande modale:

Il convient d'être rigoureux lors de la rédaction des spécifications de largeurs de bandes doubles. Pour les fibres de catégorie A1, la largeur de bande à 850 nm peut être liée à la largeur de bande à 1 300 nm comme l'illustre la Figure 2, en fonction du paramètre d'indice de réfraction, g , (voir 8.1 de la CEI 60793-1-1). La région ombrée sous la courbe de la Figure 2 peut être définie comme la zone de fenêtre double. Dans cette zone, les régions X, Y et Z sont des exemples des endroits où un fabricant de fibres peut choisir d'optimiser le processus. C'est-à-dire, centrer la production à 850 nm, 1 300 nm, ou bien entre ces deux longueurs d'onde.

Du fait de l'optimisation du processus de fabrication, il y a des combinaisons de largeurs de bandes qui sont impossibles. Par exemple, il est pratiquement impossible de produire une fibre avec le maximum des deux gammes de largeurs de bandes indiquées (par exemple 800 MHz·km / 1 000 MHz·km pour les fibres multimodales de type A1b).

Table 8 – Additional attributes required in family specifications

Attributes
Attenuation coefficient
Modal bandwidth
Numerical aperture
Macrobending loss

For attenuation coefficient and modal bandwidth, the family specification contains ranges of specifiable values instead of fixed limits. The actual values of the maximum attenuation coefficient and minimum modal bandwidth, at both 850 nm and 1 300 nm (or just at one of these wavelengths) are to be agreed between supplier and customer. For commercial purposes, the modal bandwidth is linearly normalized to 1 km.

For guidance purposes on bandwidth, Table E.1 shows a number of internationally standardised applications supported by A1 fibres, and Table E.2 gives a (limited) number of frequently used commercial bandwidth specifications for A1a and A1b fibres.

The indicated maximum attenuation values apply to uncabled optical fibres; for the maximum cabled attenuation values, reference is made to IEC 60794-2, which can be used in conjunction with this standard.

Remarks on the specification of modal bandwidth.

Care should be taken in writing dual wavelength bandwidth specifications. For category A1 fibres, the bandwidth at 850 nm may be related to the bandwidth at 1 300 nm in a way shown in Figure 2, depending on the refractive index parameter, g , (see 8.1 of IEC 60793-1-1). The shaded region under the curve of Figure 2 can be defined as the dual window area. In this area, regions X, Y, and Z are examples of where a fibre manufacturer may choose to optimise the process. That is, centre the production at 850 nm, 1 300 nm or between these two wavelengths.

Due to this optimisation of the manufacturing process, there will be combinations of bandwidth that are not possible. For example, it is practically impossible to produce a fibre with the maximum of both indicated bandwidth ranges (e.g. 800 MHz·km /1 000 MHz·km for A1b multimode fibres).

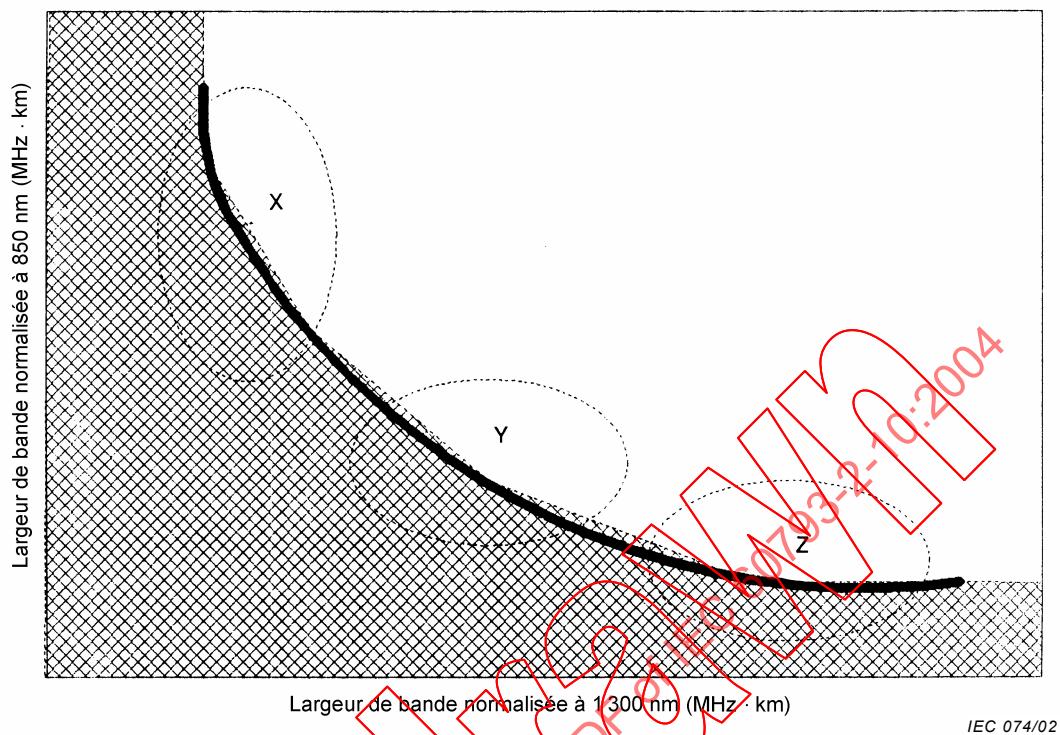


Figure 2 – Relation entre les largeurs de bande à 850 nm et à 1 300 nm

3.4 Exigences d'environnement

Les essais d'exposition à l'environnement et les méthodes de mesure correspondantes sont documentés sous deux formes:

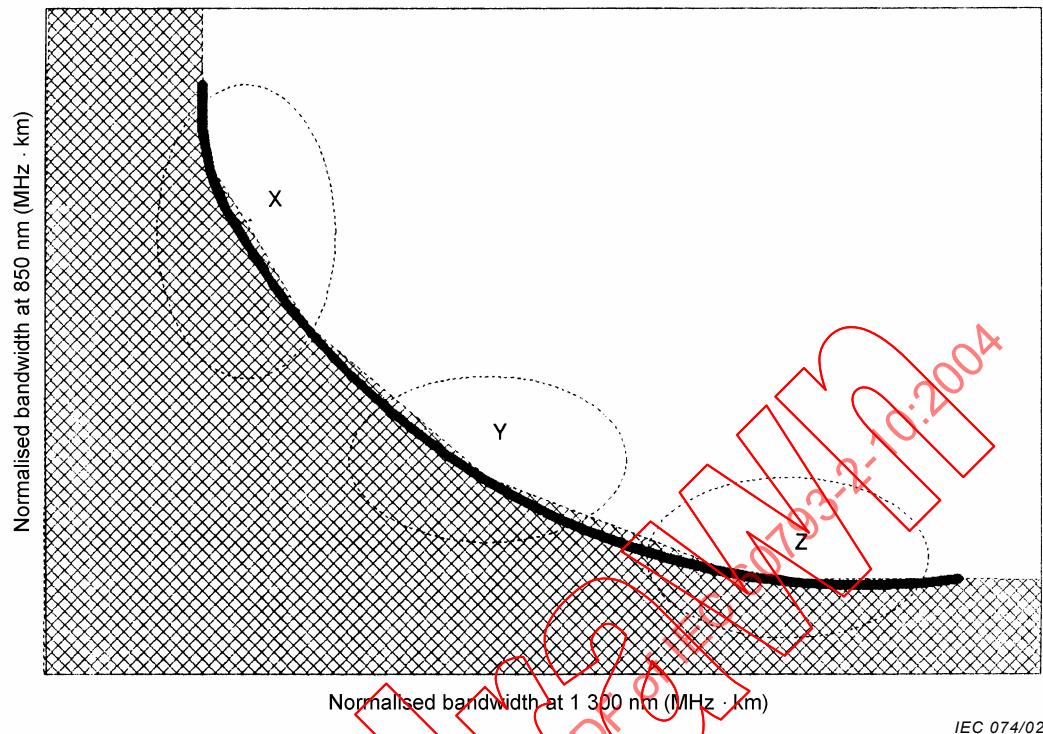
- les attributs d'environnement et les méthodes de mesure applicables figurent dans le Tableau 9;
- les mesures d'un attribut mécanique ou de transmission spécifique, susceptibles de varier avec l'application de l'environnement, sont données au Tableau 10.

Tableau 9 – Essais d'exposition à l'environnement

Exposition à l'environnement	Essais
Chaleur humide	CEI 60793-1-50
Chaleur seche	CEI 60793-1-51
Variations de température	CEI 60793-1-52
Immersion dans l'eau	CEI 60793-1-53

Tableau 10 – Attributs mesurés

Attributs	Méthode de mesure
Variations du facteur de transmission optique	CEI 60793-1-46
Affaiblissement	CEI 60793-1-40
Force de dénudage	CEI 60793-1-32
Résistance à la traction	CEI 60793-1-31
Résistance à la corrosion sous contrainte	CEI 60793-1-33

**Figure 2 – Relation between bandwidths at 850 nm and 1 300 nm**

3.4 Environmental requirements

Environmental exposure tests and measurement methods are documented in two forms:

- relevant environmental attributes and test methods are given in Table 9;
- measurements of a particular mechanical or transmission attribute that may change on the application of the environment are listed in Table 10.

Table 9 – Environmental exposure tests

Environmental exposure	Test
Damp heat	IEC 60793-1-50
Dry heat	IEC 60793-1-51
Change of temperature	IEC 60793-1-52
Water immersion	IEC 60793-1-53

Table 10 – Attributes measured

Attribute	Measurement method
Change in optical transmission	IEC 60793-1-46
Attenuation	IEC 60793-1-40
Strip force	IEC 60793-1-32
Tensile strength	IEC 60793-1-31
Stress corrosion susceptibility	IEC 60793-1-33

Ces essais sont normalement effectués de manière périodique comme essais de type pour une conception de fibre et de revêtement donnée. Sauf indication contraire, la période de reprise autorisée entre la fin de l'exposition à l'environnement et la réalisation des mesures des attributs doit être celle spécifiée dans la méthode d'essai d'environnement spécifique.

3.4.1 Exigences d'environnement mécaniques

Ces essais correspondent en pratique aux exigences les plus sévères applicables aux essais d'exposition à l'environnement indiqués au Tableau 9.

Les Tableaux 11, 12 et 13 donnent, respectivement, les exigences relatives à la force de dénudage, à la résistance à la traction, et à la résistance à la corrosion sous contrainte.

3.4.1.1 Force de dénudage

Les attributs suivants doivent être vérifiés après le retrait de la fibre de l'environnement spécifique.

Tableau 11 – Force de dénudage pour les essais d'environnement

Environnement	Force de dénudage moyenne N	Force de dénudage de crête N
Chaleur humide	$1,0 \leq F_{avg} \leq 5,0$	$F_{peak} 1,0 \leq 8,9$
Immersion dans l'eau	$1,0 \leq F_{avg} \leq 5,0$	$F_{peak} 1,0 \leq 8,9$

3.4.1.2 Résistance à la traction

Les attributs suivants doivent être vérifiés après le retrait de la fibre de l'environnement.

La résistance moyenne à la traction avant vieillissement doit être égale ou supérieure à 3,8 GPa pour une longueur d'éprouvette de 0,5 m.

Tableau 12 – Résistance à la traction pour les essais d'environnement

Environnement	Résistance moyenne à la traction longueur d'éprouvette: 0,5 m GPa	15ème rang centile de la longueur d'éprouvette pour la résistance à la traction: 0,5 m GPa
Chaleur humide	$\geq 3,03$	$\geq 2,76$

NOTE Ces exigences ne s'appliquent pas aux fibres sous revêtement hermétique.

3.4.1.3 Résistance à la corrosion sous contrainte

Les attributs suivants doivent être vérifiés après le retrait de la fibre de l'environnement.

La constante de résistance à la corrosion sous contrainte n_d avant vieillissement doit être égale ou supérieure à 18.

**Tableau 13 – Résistance à la corrosion sous contrainte
pour les essais d'environnement**

Environnement	Constante de résistance à la corrosion sous contrainte, n_d
Chaleur humide	≥ 18

NOTE Cette exigence ne s'applique pas aux fibres sous revêtement hermétique.

These tests are normally conducted periodically as type-tests for a fibre and coating design. Unless otherwise indicated, the recovery period allowed between the completion of the environmental exposure and performing the attribute measurements shall be as stated in the particular environmental test method.

3.4.1 Mechanical environmental requirements

These tests are, in practice, the most severe requirements amongst the environments defined in Table 9.

Tables 11, 12, and 13 give the requirements for strip force, tensile strength and stress corrosion susceptibility respectively.

3.4.1.1 Strip force

The following attributes shall be verified following removal of the fibre from the particular environment.

Table 11 – Strip force for environmental tests

Environment	Average strip force N	Peak strip force N
Damp heat	$1,0 \leq F_{avg} \leq 5,0$	$F_{peak} 1,0 \leq 8,9$
Water immersion	$1,0 \leq F_{avg} \leq 5,0$	$F_{peak} 1,0 \leq 8,9$

3.4.1.2 Tensile strength

The following attribute shall be verified following removal of the fibre from the environment.

Median tensile strength before ageing shall be equal to or higher than 3,8 GPa for specimen length of 0,5 m.

Table 12 – Tensile strength for environmental tests

Environment	Median tensile strength specimen length: 0,5 m GPa	15th percentile tensile strength specimen length: 0,5 m GPa
Damp heat	≥3,03	≥2,76

NOTE These requirements do not apply to hermetically coated fibre

3.4.1.3 Stress corrosion susceptibility

The following attribute shall be verified following removal of the fibre from the environment.

Stress corrosion susceptibility constant n_d before aging shall be equal to or higher than 18.

Table 13 – Stress corrosion susceptibility for environmental tests

Environment	Stress corrosion susceptibility constant, n_d
Damp heat	≥18

NOTE This requirement does not apply to hermetically coated fibre.

3.4.2 Exigences d'environnement pour la transmission

La variation d'affaiblissement par rapport à la valeur initiale doit être inférieure aux valeurs du Tableau 14. L'affaiblissement doit être mesuré de manière périodique au cours de toute la durée d'exposition, à chaque environnement et après retrait de cet environnement.

Tableau 14 – Variation de l'affaiblissement pour les essais d'environnement

Environnement	Longueur d'onde nm	Augmentation de l'affaiblissement dB/km
Chaleur humide	850	≤0,20
	1 300	≤0,20
Chaleur sèche	850	≤0,20
	1 300	≤0,20
Variations de température	850	≤0,20
	1 300	≤0,20
Immersion dans l'eau	850	≤0,20
	1 300	≤0,20

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-2-10:2004

3.4.2 Transmission environmental requirements

Change in attenuation from the initial value shall be less than the values in Table 14. Attenuation shall be measured periodically during the entire exposure to each environment and after removal.

Table 14 – Change in attenuation for environmental tests

Environment	Wavelength nm	Attenuation increase dB/km
Damp heat	850	≤ 0,20
	1 300	≤ 0,20
Dry heat	850	≤ 0,20
	1 300	≤ 0,20
Change of temperature	850	≤ 0,20
	1 300	≤ 0,20
Water immersion	850	≤ 0,20
	1 300	≤ 0,20

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-2-10:2004

Annexe A (normative)

Spécifications de famille pour les fibres multimodales de type A1a

Les articles et tableaux suivants contiennent les exigences particulières applicables aux fibres de type A1a. Les exigences communes, rappelées pour faciliter la référence par rapport à la spécification intermédiaire, sont notées par une entrée dans la colonne «Référence». Les notes correspondantes de la spécification intermédiaire ne sont pas répétées mais indiquées à l'aide d'un exposant «SS».

La fibre de type A1a est une fibre à gradient d'indice de 50/125 µm. Deux types de fibre A1a sont spécifiés. Le type A1a.1 (défini dans la première édition de la présente norme comme type A1a) s'applique aux fibres de 50/125 µm, tandis que le type A1a.2 s'applique aux fibres de 50/125 µm optimisées pour injection laser à 850 nm. Les exigences dimensionnelles, mécaniques et d'environnement sont communes à la fois aux types A1a.1 et A1a.2. Les différences dans les exigences de transmission sont spécifiées dans le Tableau A.3.

A.1 Exigences dimensionnelles

Le Tableau A.1 contient les exigences dimensionnelles qui sont spécifiques aux fibres de type A1a.

Tableau A.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres de type A1a

Attributs	Unité	Limites	Référence
Diamètre de la gaine	µm	125 ± 2	
Non-circularité de la gaine	%	≤2	
Diamètre du cœur	µm	50 ± 3	
Erreur de concentricité entre le cœur et la gaine	µm	≤3	
Non-circularité du cœur	%	≤6	3.1
Diamètre du revêtement primaire – incolore	µm	245 ± 10	3.1
Diamètre du revêtement primaire – coloré	µm	250 ± 15	3.1
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	µm	≤12,5	3.1
Longueur de la fibre	km	[voir 3.1]	3.1

A.2 Exigences mécaniques

Le Tableau A.2 contient les exigences mécaniques qui sont spécifiques aux fibres de type A1a.

Tableau A.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres de type A1a

Attribut	Unité	Limites	Référence
Niveau de contrainte d'essai	GPa	≥0,69 SS	3.2
Force de dénudage (moyenne) SS	N	1,0 ≤ $F_{ave.strip}$ ≤ 5,0	3.2
Force de dénudage (crête) SS	N	1,0 ≤ $F_{peak.strip}$ ≤ 8,9	3.2

Annex A (normative)

Family specifications for A1a multimode fibres

The following clauses and tables contain particular requirements applicable to A1a fibres. Common requirements, repeated here for ease of reference from the sectional specification, are noted by an entry in the “Reference” column. Relevant notes from the sectional specification are not repeated but indicated with a superscript “SS”.

Type A1a fibre is a 50/125 µm graded index fibre. Two types of A1a fibre are specified. Type A1a.1 (defined in the first edition of this standard as type A1a) applies to 50/125 µm fibre, while type A1a.2 applies to 850 nm laser-optimised 50/125 µm fibre. The dimensional, mechanical and environmental requirements are common to both A1a.1 and A1a.2. The differences in the transmission requirements are specified in Table A.3.

A.1 Dimensional requirements

Table A.1 contains dimensional requirements specific to A1a fibres.

Table A.1 – Dimensional requirements specific to A1a fibres

Attribute	Unit	Limit	Reference
Cladding diameter	µm	125 ± 2	
Cladding non-circularity	%	≤2	
Core diameter	µm	50 ± 3	
Core-cladding concentricity error	µm	≤3	
Core non-circularity	%	≤6	3.1
Primary coating diameter – uncoloured	µm	245 ± 10	3.1
Primary coating diameter – coloured	µm	250 ± 15	3.1
Primary coating-cladding concentricity error	µm	≤12,5	3.1
Length	km	[see 3.1]	3.1

A.2 Mechanical requirements

Table A.2 contains the mechanical requirements specific to A1a fibres.

Table A.2 – Mechanical requirements specific to A1a fibres

Attribute	Unit	Limit	Reference
Proof stress level	GPa	≥0,69 SS	3.2
Strip force (average) ^{SS}	N	1,0 ≤ $F_{ave.strip}$ ≤ 5,0	3.2
Strip force (peak) ^{SS}	N	1,0 ≤ $F_{peak.strip}$ ≤ 8,9	3.2

A.3 Exigences de transmission

Le Tableau A.3 contient les exigences de transmission qui sont spécifiques aux fibres de type A1a.

Tableau A.3 – Exigences de transmission spécifiques aux fibres de type A1a

Attributs	Unité	Limites		Référence
		Sous-type de fibre A1a.1	Sous-type de fibre A1a.2	
Affaiblissement linéique maximal à 850 nm	dB/km	2,4 – 3,5 ^a	2,5	
Affaiblissement linéique maximal à 1 300 nm	dB/km	0,7 -1,5 ^a	0,8	
Produit largeur de bande modale minimale-longueur pour injection saturée à 850 nm	MHz-km	200 – 800 ^a	1 500	
Produit largeur de bande modale minimale-longueur pour injection saturée à 1 300 nm	MHz-km	200 -1 200 ^a	500	
Produit largeur de bande modale minimale efficace-longueur à 850 nm	MHz-km	Non spécifié	2 000 ^b	Annexe D et Annexe G
Assuré par	ps/m	Non spécifié	Conforme aux Articles D.1 et D.2 de l'Annexe D	
– le retard différentiel de mode à 850 nm ou: – la largeur de bande modale efficace calculée à 850 nm		Non spécifié	Conforme aux Articles D.1 et D.3 de l'Annexe D	
Ouverture numérique	Sans unité	0,20 ± 0,02 ou 0,23 ± 0,02	0,20 ± 0,015	
Pertes maximum dues aux macrocourbures 100 tours de mandrin de 75 mm de diamètre à longueurs d'onde à 850 nm ^c et 1 300 nm ^c	dB	0,5	0,5	
Longueur d'onde de dispersion nulle, λ_0	nm	1 295 = λ_0 = 1 320	3.3	
Pente de dispersion nulle, S_0 - pour 1 295 nm ≤ λ_0 ≤ 1 300 nm - pour 1 300 nm ≤ λ_0 ≤ 1 320 nm	ps/nm ² -km	≤ 0,001 (λ_0 - 1 190) ≤ 0,11	3.3	

^a Ces valeurs représentent une gamme qui peut être spécifiée.

^b Cette valeur n'est pas mesurée mais elle est implicite. Toute fibre, conforme ou aux exigences de l'Article D.2 ou aux exigences de l'Article D.3, offrira cette performance lorsqu'elle sera utilisée avec les émetteurs satisfaisant aux exigences de l'Article D.1.

^c En fonction du comportement, indépendant de la longueur d'onde, des pertes dues aux macrocourbures pour les fibres de type A1a, soumises aux conditions d'injection permanente, utilisées dans cet essai, le simple essai d'une des longueurs d'onde peut suffire à assurer la conformité de cette spécification

A.4 Exigences d'environnement

Les exigences de 3.4 doivent être satisfaites.

A.3 Transmission requirements

Table A.3 contains transmission requirements specific to A1a fibres.

Table A.3 – Transmission requirements specific to A1a fibres

Attribute	Unit	Limit		Reference
		Fibre subtype A1a.1	Fibre subtype A1a.2	
Maximum attenuation coefficient at 850 nm	dB/km	2,4 – 3,5 ^a	2,5	
Maximum attenuation coefficient at 1 300 nm	dB/km	0,7 – 1,5 ^a	0,8	
Minimum modal bandwidth-length product for overfilled launch at 850 nm	MHz-km	200 – 800 ^a	500	
Minimum modal bandwidth-length product for overfilled launch at 1 300 nm	MHz-km	200 – 1 200 ^a	500	
Minimum effective modal bandwidth-length product at 850 nm	MHz-km	Not specified	2 000 ^b)	Annex D and Annex G
Ensured by either				
– differential mode delay at 850 nm	ps/m	Not specified	Meet clauses D.1 and D.2 of Annex D	
or				
– calculated effective modal bandwidth at 850 nm		Not specified	Meet Clauses D.1 and D.3 of Annex D	
Numerical aperture	Unit less	0,20 ± 0,02 or 0,23 ± 0,02	0,20 ± 0,015	
Maximum Macrobending loss 100 turns on mandrel diameter of 75 mm at wavelengths 850 ^c nm and 1 300 ^c nm	dB	0,5	0,5	
Zero dispersion wavelength, λ_0	nm	$1\ 295 \leq \lambda_0 \leq 1\ 320$		3,3
Zero dispersion slope, S_{λ_0} - from 1 295 nm ≤ λ_0 ≤ 1 300 nm - from 1 300 nm ≤ λ_0 ≤ 1 320 nm	ps/nm ² -km	$\leq 0,001 (\lambda_0 - 1\ 190)$ $\leq 0,11$		3,3

^a These values represent a range that may be specified.

^b This value is not measured, but is implicit. Fibre meeting either the requirements of Clause D.2 or the requirements of Clause D.3 will provide this performance when used with transmitters meeting the requirements of Clause D.1.

^c According to the wavelength-independent behaviour of macrobending loss for A1a fibre under the steady-state launch conditions used in this test, testing at only one of these wavelengths may be sufficient to ensure compliance to this specification

A.4 Environmental requirements

The requirements of 3.4 shall be met.

Annexe B (normative)

Spécifications de famille pour fibres multimodales de type A1b

Les articles et tableaux suivants contiennent les exigences particulières applicables aux fibres de type A1b. Les exigences communes, rappelées pour faciliter la référence par rapport à la spécification intermédiaire, sont notées par une entrée dans la colonne «Référence». Les notes correspondantes de la spécification intermédiaire ne sont pas répétées mais indiquées à l'aide d'un exposant «SS».

La fibre de type A1b est une fibre à gradient d'indice de 62,5/125 µm.

B.1 Exigences dimensionnelles

Le Tableau B.1 contient les exigences dimensionnelles qui sont spécifiques aux fibres de type A1b.

Tableau B.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres de type A1b

Attributs	Unité	Limites	Référence
Diamètre de la gaine	µm	125 ± 2	
Non-circularité de la gaine	%	≤2	
Diamètre du cœur	µm	62,5 ± 3	
Erreur de concentricité entre le cœur et la gaine	µm	≤3	
Non-circularité du cœur	%	≤6	3.1
Diamètre du revêtement primaire – incolore	µm	245 ± 10	3.1
Diamètre du revêtement primaire – coloré	µm	250 ± 15	3.1
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	µm	≤12,5	3.1
Longueur de la fibre	km	[voir 3.1]	3.1

B.2 Exigences mécaniques

Le Tableau B.2 contient les exigences mécaniques qui sont spécifiques aux fibres de type A1b.

Tableau B.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres de type A1b

Attributs	Unité	Limites	Référence
Niveau de contrainte d'essai	GPa	≥ 0,69 SS	3.2
Force de dénudage (moyenne) SS	N	1,0 ≤ $F_{ave.strip}$ ≤ 5,0	3.2
Force de dénudage (crête) SS	N	1,0 ≤ $F_{peak.strip}$ ≤ 8,9	3.2

Annex B (normative)

Family specifications for A1b multimode fibres

The following clauses and tables contain particular requirements applicable to A1b fibres. Common requirements, repeated here for ease of reference from the sectional specification, are noted by an entry in the “Reference” column. Relevant notes from the sectional specification are not repeated but indicated with a superscript “SS”.

Type A1b fibre is a 62,5/125 µm graded index fibre.

B.1 Dimensional requirements

Table B.1 contains dimensional requirements specific to A1b fibres.

Table B.1 – Dimensional requirements specific to A1b fibres

Attributes	Unit	Limits	Reference
Cladding diameter	µm	125 ± 2	
Cladding non-circularity	%	≤ 2	
Core diameter	µm	62,5 ± 3	
Core-cladding concentricity error	µm	≤ 3	
Core non-circularity	%	≤ 6	3.1
Primary coating diameter – uncoloured	µm	245 ± 10	3.1
Primary coating diameter – coloured	µm	250 ± 15	3.1
Primary coating-cladding concentricity error	µm	≤ 12,5	3.1
Length	km	[see 3.1]	3.1

B.2 Mechanical requirements

Table B.2 contains the mechanical requirements specific to A1b fibres.

Table B.2 – Mechanical requirements specific to A1b fibres

Attributes	Unit	Limits	Reference
Proof stress level	GPa	≥ 0,69 SS	3.2
Strip force (average) ^{SS}	N	1,0 ≤ $F_{ave.strip}$ ≤ 5,0	3.2
Strip force (peak) ^{SS}	N	1,0 ≤ $F_{peak.strip}$ ≤ 8,9	3.2

B.3 Exigences de transmission

Le Tableau B.3 contient les exigences de transmission qui sont spécifiques aux fibres de type A1b.

Tableau B.3 – Exigences de transmission spécifiques aux fibres de type A1b

Attributs	Unité	Limites	Référence
Affaiblissement linéique maximal à 850 nm ^a	dB/km	2,8 – 3,5	
Affaiblissement linéique maximal à 1300 nm ^a	dB/km	0,7 – 1,5	
Largeur de bande modale minimale à 850 nm ^a	MHz·km	100 – 800	
Largeur de bande modale minimale à 1300 nm ^a	MHz·km	200 – 1 000	
Ouverture numérique	Sans unité	$0,275 \pm 0,015$	
Pertes maximum dues aux macrocourbures 100 tours de mandrin de 75 mm de diamètre à longueurs d'onde à 850 nm ^b et 1300 nm ^b	dB	0,5	
Longueur d'onde de dispersion nulle, λ_0	nm	$1\ 320 \leq \lambda_0 \leq 1\ 365$	3.3
Pente de dispersion nulle, S_0 – pour $1\ 320 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\ 348 \text{ nm}$ – pour $1\ 348 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\ 365 \text{ nm}$	$\text{ps/nm}^2 \cdot \text{km}$	$\leq 0,11$ $\leq 0,001 (1\ 458 - \lambda_0)$	3.3

^a La colonne «limites» forme une gamme de valeurs qui peuvent être spécifiées.

^b En fonction du comportement, indépendant de la longueur d'onde, des pertes dues aux macrocourbures pour les fibres de type A1b, soumises aux conditions d'injection permanente, utilisées dans cet essai, le simple essai d'une des longueurs d'onde peut suffire à assurer la conformité de cette spécification.

B.4 Exigences d'environnement

Les exigences de 3.4 doivent être satisfaites.

B.3 Transmission requirements

Table B.3 contains transmission requirements specific to A1b fibres.

Table B.3 – Transmission requirements specific to A1b fibres

Attributes	Unit	Limits	Reference
Maximum attenuation coefficient at 850 nm ^a	dB/km	2,8 – 3,5	
Maximum attenuation coefficient at 1300 nm ^a	dB/km	0,7 – 1,5	
Minimum modal bandwidth at 850 nm ^a	MHz·km	100 – 800	
Minimum modal bandwidth at 1300 nm ^a	MHz·km	200 – 1 000	
Numerical aperture	Unit less	$0,275 \pm 0,015$	
Maximum macrobending loss 100 turns on mandrel diameter of 75 mm at wavelengths 850 nm ^b and 1300 nm ^b	dB	0,5	
Zero dispersion wavelength, λ_0	nm	$1\,320 \leq \lambda_0 \leq 1\,365$	3.3
Zero dispersion slope S_0 – from $1\,320 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,348 \text{ nm}$ – from $1\,348 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,365 \text{ nm}$	ps/nm ² km	$\leq 0,11$ $\leq 0,001(1\,458 - \lambda_0)$	3.3

^a The limit column forms a range of values that may be specified.

^b According to the wavelength-independent behaviour of macrobending loss for A1b fibre under the steady-state launch conditions used in this test, testing at only one of these wavelengths may be sufficient to ensure compliance to this specification.

B.4 Environmental requirements

The requirements of 3.4 shall be met.

Annexe C (normative)

Spécifications de famille pour fibres multimodales de type A1d

Les articles et tableaux suivants contiennent les exigences particulières applicables aux fibres de type A1d. Les exigences communes, rappelées pour faciliter la référence par rapport à la spécification intermédiaire, sont notées par une entrée dans la colonne «Référence». Les notes correspondantes de la spécification intermédiaire ne sont pas répétées mais indiquées à l'aide d'un exposant «SS».

La fibre de type A1d est une fibre à gradient d'indice de 100/140 µm.

C.1 Exigences dimensionnelles

Le Tableau C.1 contient les exigences dimensionnelles qui sont spécifiques aux fibres de type A1d.

Tableau C.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres de type A1d

Attributs	Unité	Limites	Référence
Diamètre de la gaine	µm	140 ± 4	
Non-circularité de la gaine	%	≤ 4	
Diamètre du cœur	µm	100 ± 5	
Erreur de concentricité entre le cœur et la gaine	µm	≤ 6	
Non-circularité du cœur	%	≤ 6	3.1
Diamètre du revêtement primaire – incolore	µm	245 ± 10	3.1
Diamètre du revêtement primaire – coloré	µm	250 ± 15	3.1
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	µm	≤ 12,5	3.1
Longueur de la fibre	km	[voir 3.1]	3.1

C.2 Exigences mécaniques

Le Tableau C.2 contient les exigences mécaniques qui sont spécifiques aux fibres de type A1d.

Tableau C.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres de type A1d

Attributs	Unité	Limites	Référence
Niveau de contrainte d'essai	GPa	≥ 0,69 SS	3.2
Force de dénudage (moyenne) SS	N	1,0 ≤ $F_{ave.strip}$ ≤ 5,0	3.2
Force de dénudage (crête) SS	N	1,0 ≤ $F_{peak.strip}$ ≤ 8,9	3.2

Annex C (normative)

Family specifications for A1d multimode fibres

The following clauses and tables contain particular requirements for A1d fibres. Common requirements, repeated here for ease of reference from the sectional specification, are noted by an entry in the “Reference” column. Relevant notes from the sectional specification are not repeated but indicated with a superscript “SS”.

Type A1d fibre is a 100/140 µm graded index fibre.

C.1 Dimensional requirements

Table C.1 contains dimensional requirements specific to A1d fibres.

Table C.1 – Dimensional requirements specific to A1d fibres

Attributes	Unit	Limits	Reference
Cladding diameter	µm	140 ± 4	
Cladding non-circularity	%	≤ 4	
Core diameter	µm	100 ± 5	
Core-cladding concentricity error	µm	≤ 6	
Core non-circularity	%	≤ 6	3.1
Primary coating diameter – uncoloured	µm	245 ± 10	3.1
Primary coating diameter – coloured	µm	250 ± 15	3.1
Primary coating-cladding concentricity error	µm	≤ 12,5	3.1
Length	km	[see 3.1]	3.1

C.2 Mechanical requirements

Table C.2 contains the mechanical requirements specific to A1d fibres.

Table C.2 – Mechanical requirements specific to A1d fibres

Attributes	Unit	Limits	Reference
Proof stress level	GPa	≥ 0,69 SS	3.2
Strip force (average) ^{SS}	N	1,0 ≤ $F_{\text{ave.strip}}$ ≤ 5,0	3.2
Strip force (peak) SS	N	1,0 ≤ $F_{\text{peak.strip}}$ ≤ 8,9	3.2

C.3 Exigences de transmission

Le Tableau C.3 contient les exigences de transmission qui sont spécifiques aux fibres de type A1d.

Tableau C.3 – Exigences de transmission spécifiques aux fibres de type A1d

Attributs	Unité	Limites	Référence
Affaiblissement linéique maximal à 850 nm ^a	dB/km	3,5 – 7,0	
Affaiblissement linéique maximal à 1 300 nm ^a	dB/km	1,5 – 4,5	
Largeur de bande modale minimale à 850 nm ^a	MHz·km	10 – 200	
Largeur de bande modale minimale à 1 300 nm ^a	MHz·km	100 – 300	
Ouverture numérique	Sans unité	$0,26 \pm 0,03$ ou $0,29 \pm 0,03$	
Pertes maximum dues aux macrocourbures	dB	Pour étude ultérieure	
Longueur d'onde de dispersion nulle, λ_0	nm	$1\ 295 \leq \lambda_0 < 1\ 365$	3.3
Pente de dispersion nulle S_0	ps/nm ² km	$\leq 0,105 + 0,001 (\lambda_0 - 1\ 295)$ $\leq 0,11$ $\leq 0,001 (1\ 458 - \lambda_0)$	3.3
^a La colonne «limites» forme une gamme de valeurs qui peuvent être spécifiées.			

C.4 Exigences d'environnement

Les exigences de 3.4 doivent être satisfaites.

C.3 Transmission requirements

Table C.3 contains transmission requirements specific to A1d fibres.

Table C.3 – Transmission requirements specific to A1d fibres

Attributes	Unit	Limits	Reference
Maximum attenuation coefficient at 850 nm ^a	dB/km	3,5 – 7,0	
Maximum attenuation coefficient at 1 300 nm ^a	dB/km	1,5 – 4,5	
Minimum modal bandwidth at 850 nm ^a	MHz·km	10 – 200	
Minimum modal bandwidth at 1 300 nm ^a	MHz·km	100 – 300	
Numerical aperture	Unit less	$0,26 \pm 0,03$ or $0,29 \pm 0,03$	
Maximum macrobending loss	dB	For further study	
Zero dispersion wavelength, λ_0	nm	$1\,295 \leq \lambda_0 \leq 1\,365$	3.3
Zero dispersion slope S_0 – from $1\,295 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,300 \text{ nm}$ – from $1\,300 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,348 \text{ nm}$ – from $1\,348 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,365 \text{ nm}$	ps/nm ² km	$\leq 0,105 + 0,001 (\lambda_0 - 1\,295)$ $\leq 0,11$ $\leq 0,001 (1\,458 - \lambda_0)$	3.3
^a The limits column forms a range of values that may be specified.			

C.4 Environmental requirements

The requirements of 3.4 shall be met.

Annexe D (normative)

Exigences de longueur d'onde centrale et de flux encerclé (EF) pour l'émetteur, de retard différentiel de mode de la fibre (DMD), et de largeur de bande modale effective calculée (EMBc)

Lorsqu'une fibre multimodale est utilisée avec des émetteurs lasers, sa largeur de bande peut varier largement en fonction des détails de la répartition des modes des lasers, des retards de mode de la fibre et du couplage entre le laser et les modes de la fibre. La connaissance de la structure modale d'une fibre, telle qu'elle est déterminée par la CEI 60793-1-49, permet de mettre une limite plus faible sur la gamme des largeurs de bandes qui sera rencontrée lors de l'utilisation d'une fibre donnée avec des émetteurs à lasers. En utilisant les lasers qui assurent un couplage essentiellement dans les modes aux retards bien délimités, la largeur de bande modale minimale effective peut être assurée. La méthode d'essai de la CEI 61280-1-4 peut être utilisée pour mesurer la condition d'injection des émetteurs lasers dans les fibres multimodales en termes de flux encerclé. Des spécifications de condition d'injection choisies de manière appropriée peuvent pratiquement réduire les modes utilisés par les émetteurs à ceux dont les retards différentiels de propagation sont limités tout en permettant une fabrication d'émetteurs-récepteurs à faible coût.

La largeur de bande modale effective (EMB) est la largeur de bande de 3 dB de la réponse impulsionnelle produite à partir des retards de mode d'une fibre particulière et pondérée par la distribution de puissance modale du laser injecté dans la fibre.

Un produit longueur-largeur de bande modale effective minimal de 2 000 MHz·km pour une fibre A1a.2 est assuré en combinant un émetteur conforme aux spécifications de l'Article D.1 ci-dessous avec une fibre de 50 µm satisfaisant soit aux spécifications de l'Article D.2 soit à celles de l'Article D.3 ci-dessous.

D.1 Exigences de longueur d'onde centrale et de flux encerclé (EF) pour l'émetteur

- a) Longueur d'onde centrale de l'émetteur (λ_{cw}): $840 \text{ nm} \leq \lambda_{cw} \leq 860 \text{ nm}$
- b) Distribution de puissance de l'émetteur selon la CEI 61280-1-4 avec l'émetteur couplé à une fibre de type A1a.2 (50 µm) conforme aux spécifications de la présente norme:
 - flux encerclé au rayon 4,5 µm $\leq 30 \text{ %}$, et
 - flux encerclé au rayon 19 µm $\geq 86 \text{ %}$.

D.2 Exigences de retard différentiel de mode de fibre (DMD)

D.2.1 Les fibres de type A1a.2, lorsqu'elles sont mesurées selon la CEI 60793-1-49, doivent satisfaire à l'un des six masques du Tableau D.1, chacun incluant une exigence de masque intérieur et extérieur.

Annex D (normative)

Transmitter centre wavelength and encircled flux (EF), fibre differential mode delay (DMD) and calculated effective modal bandwidth (EMBc) requirements

When a multimode fibre is used with laser transmitters, its bandwidth may vary widely, depending on the details of the modal structure of the lasers, of the modal delay structure of the fibre, and of the coupling between the laser and the fibre modes. Knowledge of the modal structure of a fibre, as determined by IEC 60793-1-49, allows a lower limit to be placed on the range of bandwidths which will be experienced when using a given fibre with laser transmitters. By using lasers which couple primarily into modes with well bounded delays, minimum effective modal bandwidth can be ensured. The test method IEC 61280-1-4 can be used to measure the launch condition of laser transmitters into multimode fibre in terms of encircled flux. Appropriately selected launch condition specifications can restrict the modes used by the transmitters primarily to those with appropriately limited differential mode delays, while allowing for low cost transceiver manufacturing.

The effective modal bandwidth (EMB) is the 3 dB bandwidth of the impulse response produced from the modal delays of a particular fibre weighted by the mode power distribution excited by a particular laser.

A minimum effective modal bandwidth-length product of 2 000 MHz·km for a A1a.2 fibre is ensured by combining a transmitter meeting the specifications in D.1 below with a 50 µm fibre meeting either the specifications in D.2 or the specifications in D.3 below.

D.1 Transmitter centre wavelength and encircled flux (EF) requirements

- a) Transmitter centre wavelength (λ_{cw}): $840 \text{ nm} \leq \lambda_{\text{cw}} \leq 860 \text{ nm}$
- b) Transmitter power distribution per IEC 61280-1-4 with the transmitter coupled into a type A1a.2 (50 µm) fibre meeting the specifications of this document:
 - encircled flux at radius $4.5 \mu\text{m} \leq 30 \%$, and
 - encircled flux at radius $19 \mu\text{m} \geq 86 \%$.

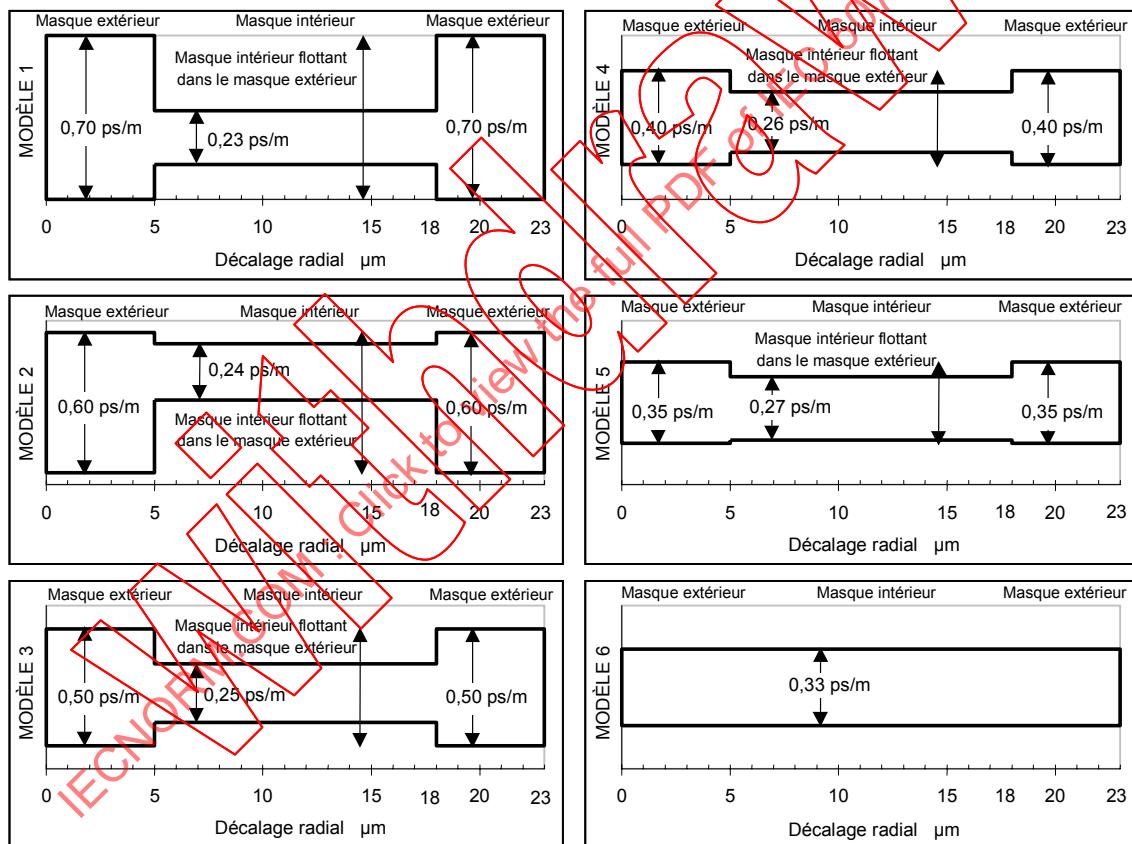
D.2 Fibre differential mode delay (DMD) requirements

D.2.1 A1a.2 fibres shall meet one of the six templates in Table D.1, each of which includes an inner and outer mask requirement, when measured per IEC 60793-1-49.

Tableau D.1 – Modèles de DMD

Numéro du modèle	Masque intérieur de DMD (ps/m) pour $R_{INNER} = 5 \mu\text{m}$ à $R_{OUTER} = 18 \mu\text{m}$	Masque extérieur de DMD (ps/m) pour $R_{INNER} = 0 \mu\text{m}$ à $R_{OUTER} = 23 \mu\text{m}$
1	≤0,23	≤0,70
2	≤0,24	≤0,60
3	≤0,25	≤0,50
4	≤0,26	≤0,40
5	≤0,27	≤0,35
6	≤0,33	≤0,33

Les exigences de DMD de D.2.1 sont illustrées à la Figure D.1. Dans cette figure, le DMD disponible (tel qu'il est mesuré par la CEI 60793-1-49) est tracé par rapport à la position de décalage radial de la sonde de mode unimodal. Il y a un arbitrage entre la dureté du masque intérieur et du masque extérieur pour assurer qu'une quantité suffisante de l'énergie en bauds provenant d'un émetteur (conforme aux spécifications d'injection) arrive dans l'intervalle de temps exigé (défini par le débit en bauds du système de transmission).

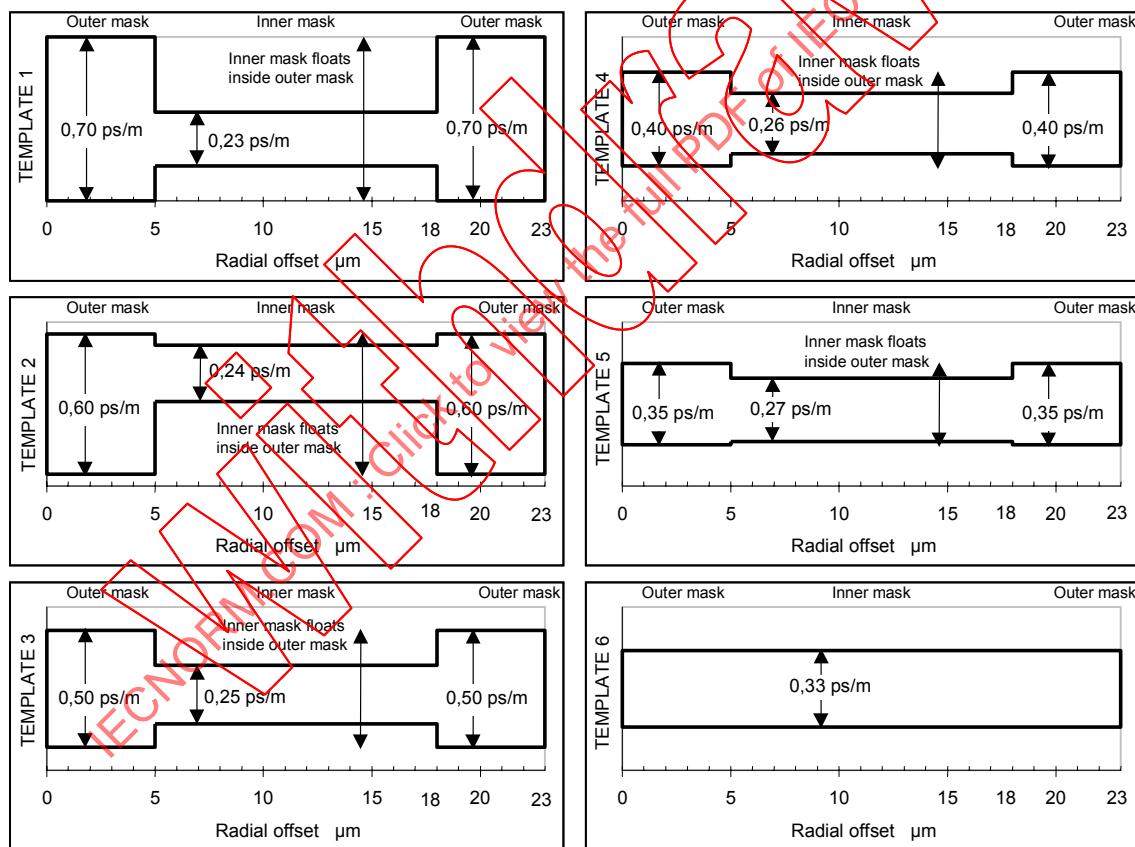
**Figure D.1 – Exigences de DMD**

La caractéristique “flottante” du masque intérieur est également illustrée à la Figure D.1. Dans cette figure, le masque intérieur ($5 \mu\text{m}$ à $18 \mu\text{m}$) peut être positionné verticalement (temporairement) à un emplacement quelconque à l'intérieur du masque extérieur ($0 \mu\text{m}$ à $23 \mu\text{m}$). Le DMD est contraint de manière plus serrée dans le masque intérieur pour permettre des tolérances plus lâches sur le masque extérieur permettant d'améliorer la fabrication des fibres conformes à la présente exigence. Dans le cas du masque de $0,33 \text{ ps/m}$, la exigence est la même sur toute la gamme de $0 \mu\text{m}$ à $23 \mu\text{m}$, en créant un masque “plat”.

Table D.1 – DMD templates

Template number	Inner mask DMD (ps/m) for $R_{INNER} = 5 \mu\text{m}$ to $R_{OUTER} = 18 \mu\text{m}$	Outer mask DMD (ps/m) for $R_{INNER} = 0 \mu\text{m}$ to $R_{OUTER} = 23 \mu\text{m}$
1	≤0,23	≤0,70
2	≤0,24	≤0,60
3	≤0,25	≤0,50
4	≤0,26	≤0,40
5	≤0,27	≤0,35
6	≤0,33	≤0,33

The DMD requirements in D.2.1 are illustrated in Figure D.1. In this figure, the allowable DMD (as measured by IEC 60793-1-49) is plotted versus the radial offset position of the single mode probe. There is a trade-off between the tightness of the inner mask and the outer mask to ensure a sufficient amount of the baud energy from a transmitter (meeting the launch specifications) arrives within the required time period (defined by the baud rate of the transmission system).

**Figure D.1 – DMD requirements**

The “floating” characteristic of the inner mask is also illustrated in Figure D.1. In this figure, the inner mask ($5 \mu\text{m}$ to $18 \mu\text{m}$) may be positioned vertically (temporally) anywhere within the outer mask ($0 \mu\text{m}$ to $23 \mu\text{m}$). The DMD is more tightly constrained in the inner mask to allow for looser tolerances on the outer mask providing for improved ability to manufacture fibre conforming with this requirement. In the case of the 0,33 ps/m mask, the requirement is the same over the whole range from $0 \mu\text{m}$ to $23 \mu\text{m}$ creating a “flat” mask.

La CEI 60793-1-49 peut être utilisée pour garantir un produit longueur-largeur de bande modale effective minimale, lorsqu'on utilise des sources ayant des restrictions appropriées. Lorsque les exigences de condition d'injection concernant les émetteurs sont couplées aux exigences du DMD concernant la fibre, un équilibre peut être obtenu entre les tolérances de la fibre et de l'émetteur. Une étude approfondie, utilisant des fibres fournies par des fabricants différents et des émetteurs lasers provenant de différents fabricants, avec des simulations extensives et détaillées, montre que les spécifications couplées ci-dessus concernant les fibres et les sources donneront un produit longueur-largeur de bande modale effective minimale de 2 000 MHz·km (voir Bibliographie).

L'utilisation d'un modèle de valeurs de DMD permet un arbitrage efficace entre les propriétés de l'émetteur et celles de la fibre. La limitation concernant le flux encerclé de l'émetteur au niveau du rayon de 4,5 µm assure que très peu d'énergie soit transportée par les modes de faible niveau de la fibre, ce qui permet la tolérance relâchée de la structure modale excitée au niveau des rayons de faible valeur. La limitation concernant le flux encerclé de l'émetteur au niveau du rayon de 19 µm assure que très peu d'énergie soit transportée par les modes des niveaux les plus élevés de la fibre, ce qui permet la tolérance relâchée de la structure modale excitée au niveau des rayons de valeur élevée.

D.2.2 Le DMD de la fibre ne doit pas dépasser 0,25 ps/m pour n'importe quel intervalle radial donné dans le Tableau D.2

Tableau D.2 – Masques d'intervalle de DMD

Nombre d'intervalle	R _{INT} µm	R _{EXT} µm
1	7	13
2	9	15
3	11	17
4	13	19

Ces masques d'intervalle éliminent les fibres possédant un DMD variant trop rapidement sur des courtes plages radiales. Les fibres qui traversent cet écran ont une interférence intersymbole plus faible que celles qui ne le traversent pas.

D.3 Exigences de largeur de bande modale effective calculée (EMB_c)

Les fibres de type A1a.2 mesurées utilisant la méthode de l' EMB_c doivent satisfaire aux exigences suivantes.

D.3.1 Largeur de bande effective calculée

Les formes d'impulsion optique peuvent être pondérées par un ensemble de distributions d'injection pour déterminer la largeur de bande modale effective minimale calculée (EMB_c) sur une plage d'injections.

L' EMB_c doit être égale ou supérieure à 2 000 MHz·km. Ceci est assuré par la vérification de la condition suivante:

$$1,13 \times \min EMB_c \geq 2\,000 \text{ MHz} \cdot \text{km} \quad [\text{D.1}]$$

où la valeur $EMB_c \text{ min}$ est déterminée à partir de la fonction de transfert complexe comme décrit en D.4.2, qui utilise les coefficients (poids) décrits dans le Tableau D.3 ci-dessous, et le facteur 1,13 aligne la valeur $EMB_c \text{ min}$ sur la largeur de bande modale effective théorique exigée par l'application 10 Gigabit.

IEC 60793-1-49 can be used to ensure a minimum effective modal bandwidth-length product, when using sources meeting appropriate restrictions. When the launch condition requirements on the transmitters are coupled to the DMD requirements on the fibre, a balance can be achieved between fibre tolerance and transmitter tolerance. A careful study, using fibres contributed by several different fibre manufacturers and laser transmitters from several different source manufacturers, and including extensive and detailed simulations, shows that the above coupled specifications on fibre and sources will yield a minimum effective modal bandwidth-length product of 2 000 MHz·km (see Bibliography).

The use of a template on the values of DMD achieves an effective trade-off between transmitter and fibre properties. The limitation on the transmitter encircled flux at the 4,5 µm radius assures that very little energy is carried by the lowest order modes of the fibre, allowing the relaxed tolerance on modal structure excited at small radii. The limitation on the transmitter encircled flux at the 19 µm radius assures that very little energy is carried by the highest order modes of the fibre, allowing the relaxed tolerance on modal structure excited at high radii.

D.2.2 The fibre DMD shall not exceed 0,25 ps/m for any of the radial offsets given in Table D.2

Table D.2 – DMD interval masks

Interval number	R_{INNER} µm	R_{OUTER} µm
1	7	13
2	9	15
3	11	17
4	13	19

These interval masks screen out fibres having DMD that changes too rapidly over short radial ranges. Fibres passing this screen have lower inter-symbol interference than those that do not.

D.3 Calculated effective modal bandwidth (EMB_c) requirements

A1a.2 fibres measured using the EMB_c method shall meet the following requirements.

D.3.1 Calculated effective bandwidth

The optical pulse shapes can be weighted by a set of launch distributions to determine the calculated minimum effective modal bandwidth (EMB_c) for a range of launches.

The EMB_c shall be equal to or higher than 2 000 MHz·km. This is ensured by verifying the following:

$$1,13 \times \min EMB_c \geq 2\,000 \text{ MHz} \cdot \text{km} \quad [\text{D.1}]$$

where

$EMB_c \text{ min}$ is determined from the complex transfer function as described in D.4.2 using the weights described in Table D.3 below and the factor 1,13 aligns the $EMB_c \text{ min}$ to the theoretical effective modal bandwidth required by the 10 Gigabit application.

D.3.2 Poids par défaut

Les pondérations du Tableau D.3 sont spécifiques aux émetteurs satisfaisant aux exigences de l'Article D.1, tels que ceux de l'application IEEE 802.3 pour 10GBASE-S. Des pondérations sont fournies pour un DMD mesuré à des intervalles de 1 µm, pour 10 'lasers' correspondant aux plages couramment observées.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-2-10:2004

D.3.2 Default weights

The weightings in Table D.3 are specific to transmitters meeting the requirements of Clause D.1, such as those of the IEEE 802.3 application for 10GBASE-S. Weightings are provided for a DMD measured at 1 µm intervals, for 10 ‘lasers’ corresponding to the range actually seen.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-2-10:2004

Tableau D.3 – Pondérations de DMD

Table D.3 – DMD weightings

D.4 Largeur de bande modale effective minimale calculée¹

D.4.1 Généralités²

La *largeur de bande modale effective* (EMB) est l'attribut spécifié avec une valeur minimale du Tableau A.3 pour des systèmes numériques à laser à performance élevée. Ceci est défini pour une fibre et un émetteur spécifiques par les retards de mode de propagation d'une fibre et la distribution de puissance de mode de l'émetteur.

L'objet du calcul de l' EMB_c est de s'assurer que l'EMB de la fibre ne dépassera pas la valeur exigée pour toute distribution de puissance de mode en cohérence avec des émetteurs conformes. La conformité des émetteurs est définie par des exigences de flux encerclé mesuré à l'aide de la CEI 61280-1-4 et les exigences données dans l'Article D.1.

La *largeur de bande modale effective calculée* (EMB_c) est déterminée à partir de la fonction de transfert, $H(f)$, comme défini en D.4.2. Celle-ci est déterminée à partir de la fréquence la plus basse pour laquelle l'amplitude de la fonction de transfert est inférieure de 1,5 dB par rapport à la valeur de la fréquence nulle. La valeur optique de 1,5 dB est alors extrapolée à -3 dB, en utilisant une hypothèse Gaussienne, en multipliant la valeur optique de 1,5 dB par 1,414.

L' EMB_c minimal ($EMB_{c\ min}$) est la valeur minimale de l' EMB_c déterminée pour une fibre spécifique utilisant l'ensemble total des pondérations correspondant à la plage de distributions de puissance de mode et aux calculs de D.4.1 à D.4.2.

Les *pondérations de DMD* correspondent à la plage de distributions de puissance de mode cohérente avec les exigences de flux encerclé des émetteurs optiques utilisés dans l'application. La spécification peut aussi stipuler un coefficient multiplicateur supplémentaire utilisé pour aligner l' EMB_c à la largeur de bande modale effective théorique exigée par l'application.

Les calculs suivants impliquent l'utilisation de fonctions de poids qui sont dérivées des données de flux encerclé en champ proche des sources lasers qui sont caractéristiques des applications. Voir D.3.1 et D.3.2 pour les détails, y compris les poids par défaut pour certaines applications normalisées, et les méthodes de calcul pour des applications alternatives. Pour une fibre donnée, l'application des fonctions à plusieurs poids fourniront un certain nombre de valeurs de largeur de bande modale effective calculée (EMB_c), le minimum étant la *largeur de bande modale minimale* ($EMB_{c\ min}$) pour la fibre.

NOTE Lorsque les données de DMD sont collectées à des décalages séparés de 2 µm, les valeurs de $U(r,t)$ à des décalages de 1 µm intermédiaires peuvent être interpolées dans le cadre de ces calculs.

D.4.2 Calcul de l'impulsion de sortie³

Calculer une réponse temporelle résultante de sortie, $P_o(t)$ en utilisant l'information de l'impulsion de la sortie de la fibre et de la fonction de pondération.

¹ Les exigences pour la largeur de bande modale effective calculée sont constituées d'une combinaison d'exigences de spécifications contenues dans la présente norme et d'exigences d'essai contenues dans la CEI 60793-1-49. Les textes des Articles D.4, D.5, D.6 et D.7 contiennent une partie des exigences d'essai normatif et sont inclus ici pour que le présent document soit complet. Pendant le processus de révision de la présente norme et de la CEI 60793-1-49, ces textes pourront être retirés du présent document et déplacés vers la CEI 60793-1-49. Lorsque cela est possible, une indication précisant l'endroit où chaque texte devrait être placé dans la CEI 60793-1-49 est fournie.

² Sera remplacé par le paragraphe 6.2 de la CEI 60793-1-49, Edition 2.

³ Sera remplacé par le paragraphe 6.2.1 de la CEI 60793-1-49, Edition 2.

D.4 Minimum calculated effective modal bandwidth¹⁾

D.4.1 General²⁾

The *effective modal bandwidth* (EMB) is the attribute specified with a minimum value in Table A.3 for high performance laser-based digital systems. It is defined for a specific fibre and transmitter by the mode delays of the fibre and the mode power distribution implied in the transmitter.

The purpose of the EMB_c calculation is to ensure that the EMB of the fibre will not exceed the requirement for any mode power distribution consistent with conforming transmitters. The conformance of the transmitters is defined by encircled flux requirements measured by IEC 61280-1-4 and the requirements given in D.1.

The *calculated effective modal bandwidth* (EMB_c) is determined from the transfer function, $H(f)$, as defined in D.4.2. It is determined from the lowest frequency where the magnitude of the transfer function is 1,5 dB down from the zero frequency value. The 1,5 dB optical value is then extrapolated to –3 dB using a Gaussian assumption by multiplying the 1,5 dB optical value by 1,414.

The *minimum EMB_c* ($EMB_{c\ min}$) is the minimum value of EMB_c determined for a specific fibre using the full set of weightings corresponding to a range of mode power distributions and the calculations of D.4.1 to D.4.2.

The *DMD weightings* correspond to the range of mode power distributions consistent with the encircled flux requirements of the optical transmitters utilized in the application. The specification may also specify an additional multiplier that is used to align EMB_c to the theoretical effective modal bandwidth required by the application.

The following calculations involve the use of weight functions that are derived from near-field encircled flux data of laser sources that are characteristic of applications. See D.3.1 and D.3.2 for details, including default weights for certain standardised applications, and calculation methods for alternative applications. For a given fibre, the application of several weight functions will yield a number of calculated effective modal bandwidth values (EMB_c), the minimum of which is the *minimum modal bandwidth* ($EMB_{c\ min}$) for the fibre.

NOTE When DMD data are collected at offsets separated by 2 µm, the $U(r,t)$ values at the intervening 1 µm offsets may be interpolated for the purpose of these calculations.

D.4.2 Calculation of the output pulse³⁾

Calculate a resultant output temporal response, $P_o(t)$ utilizing the fibre output pulse information and a weighting function.

1) The requirements for calculated effective modal bandwidth are a combination of specification requirements contained in this standard and test requirements contained in IEC 60793-1-49. The texts in Clauses D.4, D.5, D.6 and D.7 are part of the normative test requirements and are included here for completeness. During the revision process for this standard and IEC 60793-1-49, these texts will be removed from this document and moved to IEC 60793-1-49. When possible, an indication of where the respective text should be placed in IEC 60793-1-49 is provided.

2) The text of this subclause is to be superseded by 6.2 in 60793-1-49, Edition 2.

3) The text of this subclause is to be superseded by 6.2.1 in 60793-1-49, Edition 2.

$$P_o(t) = \sum_r W(r)U(r,t) \quad [D.2]$$

où

$U(r,t)$ est l'échantillon de l'impulsion de sortie mesurée à chaque décalage radial r comme une fonction du temps t . Chaque impulsion de sortie est brute (non normalisée), après une extraction appropriée du bruit de la ligne de base.

$W(r)$ est la fonction de pondération de DMD correspondant à l'émetteur utilisé dans l'application (voir la spécification particulière)

D.4.3 Calcul de la fonction de transfert ⁴

Déconvoluer la réponse temporelle de référence, $R(t)$, à partir de la réponse résultante de sortie, $P_o(t)$, d'une manière similaire à celle donnée dans les mesures de la largeur de bande décrites dans la CEI 60793-1-41. Ceci donne la réponse fréquentielle de la fibre, $H_{Fib}(f)$, aussi appelé la *fonction de transfert de la fibre*.

$$H_{Fib}(f) = FT\{P_o(t)\} / FT\{R(t)\} \quad [D.3]$$

où

$P_o(t)$ est l'impulsion résultante de sortie à partir de D.4.1;

$R(t)$ est l'impulsion résultante de référence à partir de D.4.2;

FT est la fonction Transformée de Fourier.

NOTE Ces calculs produisent un ensemble de nombres complexes.

D.4.4 Largeur de bande modale effective calculée (EMB_c) ⁵

Calculer la valeur optique de 1,5 dB. Celle-ci est déterminée à partir de la fréquence la plus basse pour laquelle l'amplitude de la fonction de transfert est inférieure de 1,5 dB par rapport à la valeur à la fréquence nulle. La valeur optique de 1,5 dB est alors extrapolée à –3 dB, par une fonction Gaussienne, en multipliant la valeur optique de 1,5 dB par 1,414.

NOTE La largeur de bande peut être déterminée grâce à la définition traditionnelle à 3 dB (le premier point pour lequel la fonction de transfert, $H_{Fib}(f)$ atteint 50 % ou 3 dB). Cependant, des réponses hautement non gaussienne peuvent être générées en utilisant des fibres réelles et des sources réelles. Pour ces réponses, la valeur à 3 dB mesurée s'est avérée ne pas fournir une bonne corrélation avec la performance du système. La valeur métrique 1,5 dB prend en compte les limitations d'une fonction de transfert ondulée et ses effets sur la valeur à –3 dB.

D.4.5 Limite fréquentielle de stabilité du système (SSFL) ⁶

Définir

$$G_{ref}(f) = \frac{FFT(R_A(t))}{FFT(R_B(t))} \quad [D.4]$$

où

R_A et R_B sont deux impulsions indépendantes de référence;

SSFL est la fréquence minimale où $|G(f)|$ dépasse $1,0 \pm 0,05$ (Voir la CEI 60793-1-41).

⁴ Sera remplacé par le paragraphe 6.2.2 de la CEI 60793-1-49, Edition 2.

⁵ Sera remplacé par le paragraphe 6.2.3 de la CEI 60793-1-49, Edition 2.

⁶ Sera remplacé par le paragraphe 6.2.4 de la CEI 60793-1-49, Edition 2.

$$P_o(t) = \sum_r W(r)U(r,t) \quad [D.2]$$

where

- $U(r,t)$ is the sample output pulse measured at each radial offset r as a function of time t . Each output pulse is raw (un-normalized), after an appropriate subtraction of baseline noise.
- $W(r)$ is the DMD weighting function corresponding to the transmitter used in the application (see the relevant specification)

D.4.3 Calculation of the transfer function⁴

Deconvolve the reference temporal response, $R(t)$, from the resultant output response, $P_o(t)$, in a similar fashion to that done in bandwidth measurements described in IEC 60793-1-41. This gives the fibre frequency response, $H_{Fib}(f)$, also called the *fibre transfer function*.

$$H_{Fib}(f) = FT\{P_o(t)\} / FT\{R(t)\} \quad [D.3]$$

where:

- $P_o(t)$ is the resultant output pulse from D.4.1;
- $R(t)$ is the resultant reference pulse from D.4.2;
- FT is the Fourier transform function.

NOTE These calculations yield an array of complex numbers.

D.4.4 Calculated effective modal bandwidth (EMB_c)⁵

Calculate the 1,5 dB optical value. This is determined from the lowest frequency where the magnitude of the transfer function is 1,5 dB down from the zero frequency value. The 1,5 dB optical value is then extrapolated to -3 dB using a Gaussian by multiplying it by 1,414.

NOTE The bandwidth can be determined by the traditional 3 dB definition (the first point at which the transfer function, $H_{Fib}(f)$ reaches 50 % or 3 dB). However, highly non-Gaussian responses can be generated using real fibre and real sources. For these responses, the measured 3 dB value has been shown not to provide a good correlation to system performance. The 1,5 dB metric addresses the limitations of a wavy transfer function and its effect on the -3 dB value.

D.4.5 System stability frequency limit (SSFL)⁶

Define

$$G_{ref}(f) = \frac{FFT(R_A(t))}{FFT(R_B(t))} \quad [D.4]$$

where

R_A and R_B are two independent reference pulses;

SSFL is the minimum frequency where $|G(f)|$ exceeds $1,0 \pm 0,05$ (See 60793-1-41).

⁴ The text of this subclause is to be superseded by 6.2.2 in 60793-1-49, Edition 2.

⁵ The text of this subclause is to be superseded by 6.2.3 in 60793-1-49, Edition 2.

⁶ The text of this subclause is to be superseded by 6.2.4 in 60793-1-49, Edition 2.

Si l' EMB_c calculé pour une combinaison fibre/laser dépasse le SSFL, reporter la valeur de la largeur de bande normalisée comme plus grande que SSFL·longueur.

D.4.6 Normalisation de longueur⁷

Il peut être souhaitable de normaliser la valeur de DMD ou de l' EMB_c à une longueur d'unité, telle que ps/m ou MHz·km. Si la normalisation à une longueur d'unité est utilisée, la formule de dépendance de la longueur doit être consignée.

D.5 Calcul de l' EMB_c ⁸

L'idée sous-jacente au calcul de l' EMB_c est d'utiliser l'information de l'impulsion du DMD pour quantifier l'effet de l'élargissement d'impulsion due à la dispersion intermodale lorsque la fibre est utilisée avec des émetteurs réels. En générant une somme pondérée des impulsions de DMD, les différentes distributions de puissance de groupe modal de différents émetteurs peuvent être incluses, assurant ainsi que l'impulsion réelle sera suffisamment étroite. En incluant une plage de distributions de puissance de mode réel, mais seulement pour ceux correspondant aux émetteurs conformes, la performance des fibres peut être garantie sans nécessairement restreindre les fibres.

La largeur de bande modale effective (EMB) d'une fibre dépend par définition seulement des retards de mode et de la pondération de puissance modale. Il est habituellement admis qu'il existe un couplage total à l'intérieur d'un groupe modal de sorte qu'un nombre relativement petit de groupes de mode, avec leurs retards, détermine l' EMB (et en fait, la performance d'une fibre réelle avec un émetteur réel). Il est considéré en plus qu'il n'existe pas de couplage entre les groupes modaux. Les retards d'un groupe modal et leur puissance relative pour un groupe g sont désignés respectivement par τ_g et P_g . Alors la fonction de transfert complexe, à partir de laquelle l' EMB est déterminée, possède une forme relativement simple

$$H(f) = \sum_g P_g \exp(i2\pi f \Delta\tau_g) \quad [D.5]$$

où:

$$\Delta\tau_g = \tau_g - \tau_{ave} \text{ et}$$

$$\tau_{ave} \text{ est le centroïde des groupes de mode donné par } \tau_{ave} = \frac{\sum g P_g \tau_g}{\sum g P_g}.$$

L'amplitude $|H(f)|$ à partir de laquelle la largeur de bande est habituellement calculée a la forme:

$$|H(f)| = \sqrt{\left(\sum_g P_g \cos(2\pi f \Delta\tau_g) \right)^2 + \left(\sum_g P_g \sin(2\pi f \Delta\tau_g) \right)^2} \quad [D.6]$$

La définition standard de largeur de bande (voir CEI 60793-1-41) pour les fibres multimodales est la fréquence f à -3 dB où $|H(f)|$ atteint pour la première fois 0,5. En pratique, en fonction des retards de mode et de leur puissance relative, $|H(f)|$ peut posséder des vagues ou des plateaux de sorte que la largeur de bande à -3 dB peut ne pas résister aux petites variations de la distribution de puissance de mode, comme vu en pratique.

⁷ Sera remplacé par le paragraphe 6.2.5 de la CEI 60793-1-49, Edition 2.

⁸ Sera remplacé par l'Article C.2 de la CEI 60793-1-49, Edition 2.

If the EMB_c calculated for a fibre/laser combination exceeds the SSFL, report the normalized bandwidth value as greater than SSFL-length.

D.4.6 Length normalisation⁷

It may be desirable to normalise the value of DMD or EMB_c to a unit length, such as ps/m or MHz·km. If normalization to a unit length is used, the length dependence formula shall be reported.

D.5 EMB_c Calculation⁸⁾

The idea behind the EMB_c calculation is to use the DMD pulse information to quantify the effect of pulse spread due to intermodal dispersion when the fibre is used with actual transmitters. By generating a weighted sum of the DMD pulses, the different mode group power distributions of different transmitters can be included, ensuring that the actual pulse will be sufficiently narrow. By including a range of actual mode power distributions, but only those corresponding to ‘conforming transmitters’, the performance of the fibre can be guaranteed without unnecessarily restricting the fibre.

The effective modal bandwidth (EMB) of a fibre depends by definition only on the modal delays and the modal power weighting. It is usually assumed that there is complete coupling within a mode group so that a relatively few number of mode groups and their delays will determine the EMB (and in fact, the performance of an actual fibre with an actual transmitter). It is further assumed that there is no coupling between mode groups. The mode group delays and their relative power for group g are denoted by τ_g and P_g , respectively. Then the complex transfer function from which the EMB is determined has the relatively simple form

$$H(f) = \sum_g P_g \exp(j2\pi f \Delta\tau_g) \quad [D.5]$$

where:

$$\Delta\tau_g = \tau_g - \tau_{ave} \text{ and}$$

$$\tau_{ave} \text{ is the centroid of the mode groups given by } \tau_{ave} = \sum_g P_g \tau_g.$$

The amplitude $|H(f)|$ from which the bandwidth is customarily calculated has the form:

$$|H(f)| = \sqrt{\left(\sum_g P_g \cos(2\pi f \Delta\tau_g) \right)^2 + \left(\sum_g P_g \sin(2\pi f \Delta\tau_g) \right)^2} \quad [D.6]$$

The standard definition of bandwidth (see IEC 60793-1-41) for multimode fibres is the -3 dB frequency f where $|H(f)|$ first reaches 0.5 . In practice, depending on the mode delays and their relative power, $|H(f)|$ may have waves and plateaus so that the -3 dB bandwidth may not be robust to small changes in the mode power distribution seen in practice.

⁷ The text of this subclause is to be superseded by 6.2.5 in 60793-1-49, Edition 2.

⁸ The text of this clause is to be superseded by Clause C.2 in 60793-1-49, Edition 2.

Ceci est bien connu (voir[1] et [2]⁹. La largeur de bande à $-1,5$ dB est plus robuste par rapport à ces caractéristiques.

Le calcul de l' EMB_c se décompose en 3 étapes:

- chaque impulsion de mesure du DMD $D(r,t)$ pris à un décalage de $r \mu\text{m}$ a donné un poids relatif W_r et la somme des impulsions pondérées donne une impulsion de sortie pondérée $P_0(t)$;
- l'effet de la référence sur l'impulsion de sortie est annulé en utilisant une déconvolution similaire à celle utilisée pour la mesure de la largeur de bande (CEI 60793-1-41). Ceci donne la réponse fréquentielle de la fibre ou la fonction de transfert, la fonction complexe $H(f)$ ci-dessus;
- l' EMB_c est déterminé à partir de la fonction de transfert complexe comme décrit en D.4.2 utilisant la valeur de la largeur de bande à $-1,5$ dB comme donné en D.4(3).

Pour une fibre spécifique, les étapes 1 à 3 sont répétées avec un ensemble de pondérations, correspondant à un ensemble de distributions de puissance de mode, et l' EMB_c minimal, déterminé à partir de l'ensemble, est une mesure de la performance minimale de la fibre avec un ensemble d'émetteurs correspondant aux pondérations. Il n'est pas nécessaire que chaque pondération corresponde à un émetteur réel. Cependant, le but général de la procédure de l' EMB_c est de garantir la performance avec les émetteurs réels utilisés dans les applications.

L'approche pour spécifier les performances d'une fibre donnée, en ce qui concerne l' EMB_c , est réalisée de façon solide par l'utilisation des minima et l'utilisation d'une largeur de bande ajustée. Effectivement, ceci fournit une estimation de l'EMB dans le pire cas (et ainsi, dans le modèle de liaison, de la performance de la pénalité ISI) tant qu'un ensemble suffisamment large de pondérations est inclus et que la plage des distributions d'injection couvre la plage atteinte pour une application donnée. Typiquement, si les distributions d'injection de l'émetteur sont suffisamment uniques et réparties sur toute la plage de distribution d'injection atteinte, 5 à 10 pondérations (correspondant grossièrement à 5 à 10 émetteurs) sont suffisantes pour déterminer l' EMB_c min.

D.6 Poids du DMD¹⁰

D.6.1 Choix de l'ensemble des pondérations

Les pondérations pour un calcul de l' EMB_c peuvent être désignées par le vecteur W_r , où r est le décalage du DMD. L'ensemble de pondérations nécessaire au calcul de l' EMB_c minimal peut être désigné par une matrice W_rL , où L correspond à une pondération spécifique. La pondération spécifique peut être reliée à un émetteur spécifique qui est 'modélisé', ou elle peut être une pondération purement théorique. Le lien à un émetteur spécifique nécessite une compréhension approximative parce que la pondération reproduit uniquement une caractéristique de l'émetteur, la distribution de puissance de mode. Néanmoins, en calculant l' EMB_c minimal avec une plage de pondérations large, en se rapprochant d'une plage d'émetteurs large, la fibre peut être assurée d'un EMB minimal pour les émetteurs réels.

L'ensemble des pondérations doit être spécifique aux spécifications des émetteurs et aux exigences du débit binaire (exigences de largeur de bande).

⁹ Les chiffres entre crochets renvoient aux documents de référence donnés à l'Article D.8.

¹⁰ Sera remplacé par l'Annexe D de la CEI 60793-1-49, Edition 2.

This is well known (see [1] and [2]⁹). The $-1,5$ dB bandwidth is more robust with respect to these characteristics.

The calculation of EMB_c has 3 steps:

- a) each DMD measurement pulse $D(r,t)$ taken at an offset of $r \mu\text{m}$ is given a relative weight W_r and the sum of the weighted pulses gives a weighted output pulse $P_o(t)$;
- b) the effect of the reference on the output pulse is removed using a deconvolution similar to that used in the bandwidth measurement (IEC 60793-1-41). This gives the fibre frequency response or transfer function, the complex function $H(f)$ above;
- c) EMB_c is determined from the complex transfer function as described in Clause D.4.2 using the $-1,5$ dB bandwidth value as derived in D.4.3.

For a specific fibre, steps 1 to 3 are repeated with a set of weightings, corresponding to a set of mode power distributions, and the minimum EMB_c determined from the set is a measure of the minimum performance of the fibre with a set of transmitters corresponding to the weightings. It is not necessary that every weighting correspond to an actual transmitter. However, the overall purpose of the EMB_c procedure is to guarantee performance with the actual transmitters used in the application.

The approach to specifying performance for a given fibre in terms of EMB_c is made robust by the use of minimums and the use of an adjusted bandwidth. Effectively, this provides an estimate of the worst case EMB (and hence, in the link model, of ISI penalty performance) as long as a broad enough set of weightings is included and the range of launch distributions spans the range allowed for a given application. Typically, if the transmitter launch distributions are sufficiently unique and distributed across the allowed launch distribution range, 5 to 10 weightings (corresponding roughly to 5 to 10 transmitters) are sufficient to determine the $EMB_c \text{ min}$.

D.6 DMD weights¹⁰

D.6.1 Selecting a set of weightings

The weightings for an individual EMB_c calculation can be denoted by the vector W_r , where r is the offset of the DMD. The set of weightings needed to calculate the minimum EMB_c can be denoted by a matrix W_{rL} , where L corresponds to a specific weighting. The specific weighting may be linked to a specific transmitter which is being ‘modelled’, or it may be a purely theoretical weighting. The connection to a specific transmitter needs to be understood as approximate because the weighting only duplicates one feature of the transmitter, the mode power distribution. Nevertheless, by calculating the minimum EMB_c with a broad range of weightings, approximating a broad range of transmitters, the fibre can be assured of a minimum EMB with actual transmitters.

The set of weightings shall be specific for the transmitter specifications and for the bit rate requirements (bandwidth requirements).

⁹ Figures in square brackets refer to the reference documents listed in Clause D.8.

¹⁰ The text of this clause is to be superseded by Annex D in 60793-1-49, Edition 2.

D.6.2 Procédure pour la génération des pondérations du DMD donnant les données de flux encerclé

Pour générer la pondération appropriée du DMD correspondant aux données de flux encerclé pour un émetteur particulier, se reporter à la conformité à la CEI 61280-1-4:

- convertir les données de flux encerclé en une distribution de puissance de mode calculée P_g ;
- convertir la distribution de puissance de mode P_g à une pondération du DMD W_r .

D.7 Informations relatives au calcul¹¹

D.7.1 Exemples de poids de la DMD

L'ensemble d'exemples de pondérations du Tableau D.3 sont spécifiques aux émetteurs satisfaisants aux exigences de l'Article D.1, telles que celles de l'application IEEE 802.3 pour la 10GBASE-S. Les émetteurs avec lesquels la fibre pourrait être utilisée sont conformes à l'Article D.1. Des pondérations sont fournies pour un DMD mesuré à des intervalles de 1 µm, pour 10 lasers correspondant aux plages couramment observées.

D.7.2 Exemples de méthodes pour déterminer si une largeur de bande métrique ajustée est appropriée

Une méthode pour déterminer si une largeur de bande métrique ajustée est appropriée consiste à utiliser le travail de modélisation du 10GbE du TIA [5] et la simulation de 40 000 liaisons, incluant l'EMB et l'ISI. La fonction de transfert complète peut être calculée pour chacune des 10 000 liaisons droites sans connecteurs. Si l'EMB, calculé avec une largeur de bande à -3 dB ou une largeur de bande ajustée, est plus grande que $2 000 \text{ MHz}\cdot\text{km}$, il convient alors de réussir l'exigence ISI de $2,6 \text{ dB}$. Un certain nombre de fibres soit remplissent la condition largeur de bande à $-3 \text{ dB} > 2 000 \text{ MHz}\cdot\text{km}$ et échouent à l'ISI, soit répondent à l'exigence de l'ISI sans remplir la condition largeur de bande à $-3 \text{ dB} > 2 000 \text{ MHz}\cdot\text{km}$. Une largeur de bande métrique M1 ajustée constitue une amélioration par rapport à une métrique M2 si elle décale la distribution des fibres de sorte que l'essentiel des fibres remplissent à la fois la condition largeur de bande à $-3 \text{ dB} > 2 000 \text{ MHz}\cdot\text{km}$ et l'ISI, mais sans induire une pénalité supplémentaire des fibres qui remplissent très bien l'ISI et qui sont décalées sous les $2 000 \text{ MHz}\cdot\text{km}$. L'équilibre exact entre ces deux objectifs dépend d'autres exigences, mais la largeur de bande métrique ajustée idéale ne correspondra à aucune fibre de ce type.

Quand une telle modélisation est réalisée à d'autres débits binaires et d'autres longueurs, une largeur de bande métrique ajustée particulière pourra être préférée si elle s'applique dans des situations multiples et donc est "extensible".

De manière à atteindre l'accord entre une performance métrique, telle que la largeur de bande effective mesurée, englobant à la fois les effets de la dispersion chromatique et des caractéristiques de la source spectrale, et l' EMB_c minimal prévu, il peut être nécessaire de corriger la fonction de transfert calculée pour les effets de la dispersion chromatique causée par le contenu spectral de la source. Si l'impact de la dispersion chromatique est significatif, la fonction de transfert de la dispersion chromatique, créée par le spectre de la source, est convoluée avec la fonction de transfert de la fibre comme calculé en D.4.2. La fonction de transfert de la dispersion chromatique est calculée en prenant le spectre de la source et en le multipliant par le retard mesuré, pris comme une fonction de la longueur d'onde.

¹¹ Sera remplacé par l'Annexe E de la CEI 60793-1-49, Edition 2.

D.6.2 Procedure for generating DMD weightings given encircled flux data

To generate the appropriate DMD weighting corresponding to encircled flux data for a particular transmitter, taken according to IEC 61280-1-4:

- convert the encircled flux data to a calculated mode power distribution P_g ;
- convert the mode power distribution P_g to a DMD weighting W_r .

D.7 Calculation information¹¹

D.7.1 Example DMD Weights

The example set of weightings in Table D.3 are specific to transmitters meeting the requirements of Clause D.1, such as those of the IEEE 802.3 application for 10GBASE-S. The transmitters with which the fibre would be used conform to Clause D.1. Weightings are provided for a DMD measured at 1 μm intervals, for 10 lasers corresponding to the range actually seen.

D.7.2 Example method to determine if an adjusted BW metric is adequate

One method to determine if an adjusted BW metric is adequate is to make use of the TIA 10GbE modelling work [5] and the simulation of the 40 000 links, including EMB and ISI. The full transfer function can be calculated for each of the 10 000 straight links with no connectors. If the EMB, calculated with -3 dB BW or an adjusted BW, is greater than 2 000 MHz·km, then the fibre should also pass the ISI requirement of 2,6 dB. A number of fibres either pass -3 dB BW > 2 000 MHz·km and fail ISI, or fail 2 000 MHz·km and pass ISI. An adjusted BW metric M1 is an improvement over metric M2 if it shifts the distribution of fibres so that essentially all fibres passing 2 000 MHz·km also pass ISI, but without incurring an additional penalty of extra ISI-passing fibres being shifted below 2 000 MHz·km. The exact balance between these two goals depends on other requirements, but the ideal adjusted BW metric will have no fibres in either category.

As modelling proceeds to other bit rates and lengths, a particular adjusted BW metric will be preferred if it applies in multiple situations and thus is “scalable.”

In order to achieve agreement between a performance metric such as measured effective bandwidth, which includes the effects of chromatic dispersion and source spectral characteristics, and predicted minimum EMB_c , it may be necessary to correct the calculated transfer function for the effect of chromatic dispersion caused by the source's spectral content. If the impact of chromatic dispersion is significant, the chromatic dispersion transfer function created by the source spectrum is convolved with the fibre transfer function calculated in D.4.2. The chromatic dispersion transfer function is calculated by taking the source spectrum and multiplying it by the measured delay as a function of wavelength.

¹¹ The text of this clause is to be superseded by Annex E in 60793-1-49, Edition 2.

D.7.3 Procédures pour la génération des poids de DMD à partir des données de flux encerclé

Les méthodes résumées ici fournissent des moyens pour le calcul d'une distribution de puissance de mode (MPD) à partir des données de flux encerclé, et pour le calcul des poids de DMD à partir de la distribution de puissance de mode. Connaissant les poids de DMD, il est très simple d'inverser l'opération pour calculer la distribution de puissance de mode à partir des poids de DMD puis l'intensité en champ proche (ou flux encerclé) à partir de la distribution de puissance de mode. Les méthodes supposent que le flux encerclé mesuré de manière adéquate à l'extrémité distante d'un élément de fibre de 10 m représente la distribution de puissance de mode de la source.

Le flux encerclé mesuré conformément à la CEI 61280-1-4 et l'intensité en champ proche sont liés par l'équation

$$EF(r) = \frac{\int_0^r I(r)rdr}{\int_0^{r_{max}} I(r)rdr} \quad [D.7]$$

où:

r est le décalage radial;

r_{max} est typiquement 1,15 fois le rayon du cœur .

Le calcul de la pondération de la DMD, W_r , est un processus en deux étapes:

- à partir de l'intensité en champ proche, I_r , calculer la distribution de puissance de mode, P_g ;
- à partir de la distribution de puissance de mode, P_g , calculer la fonction de pondération, W_r .

La MPD est estimée à partir de la mesure du champ proche, en faisant l'hypothèse d'un couplage complet à l'intérieur d'un groupe, d'incohérence, et en supposant que le champ proche transmis est correctement approché par le champ proche mesuré sur une courte longueur de la fibre. Dans ce cas, il existe une relation entre l'intensité en champ proche $I(r)$ et les fonctions de pondération modales de l'équation d'onde scalaire:

$$I(r) = \sum_m P_m \Psi^2 m(r) \quad [D.8]$$

Ici la MPD est décomposée en termes de modes individuels avant tous couplages. Vu le nombre élevé de modes individuels (et pour d'autres raisons), il n'est pas possible de la résoudre pour les modes individuels, mais si un couplage est assuré à l'intérieur d'un groupe, alors:

$$P_g \Psi^2 g(r) = \sum_{m \in G} P_m \Psi^2 m(r) \quad [D.9]$$

et nous avons besoin de résoudre P_g , à partir de l'équation:

$$I(r) = \sum_g P_g \Psi^2 g(r) \quad [D.10]$$

D.7.3 Procedures for generating DMD weights from encircled flux data

The methods summarized here provide for the calculation of a mode power distribution (MPD) from encircled flux data, and for calculation of DMD weights from the mode power distribution. Given DMD weights, it is straightforward to reverse the calculation and calculate the mode power distribution from the DMD weights and then the near field intensity (or encircled flux) from the mode power distribution. The methods assume that the encircled flux measured at the far end of a 10 m piece of fibre adequately represents the mode power distribution of the source.

The encircled flux measured according to IEC 61280-1-4 and the near field intensity are related by the equation

$$EF(r) = \frac{\int_0^r I(r)rdr}{\int_0^{r_{max}} I(r)rdr} \quad [D.7]$$

where:

r is the radial offset;

r_{max} is typically 1,15 the core radius.

The calculation of the DMD weighting, W_r , is a two-step process:

- from the near field intensity, I_r , calculate the mode power distribution, P_g ;
- From the mode power distribution, P_g , calculate the weighting function, W_r .

The MPD is estimated from the near field measurement, assuming full coupling within a group, incoherence, and that the transmitted near field is well approximated by the measured nearfield on a short length of fibre. In this case there is a connection between the nearfield intensity $I(r)$ and the modal weighting functions of the scalar wave equation:

$$I(r) = \sum_m P_m \Psi^2 m(r) \quad [D.8]$$

Here the MPD is written in terms of the individual modes before any coupling occurs. Because of the large number of individual modes (and other reasons) it is not feasible to solve for the individual modes, but if coupling within a group is assumed, then:

$$P_g \Psi^2 g(r) = \sum_{m \in G} P_m \Psi^2 m(r) \quad [D.9]$$

and we need to solve for P_g from the equation:

$$I(r) = \sum_g P_g \Psi^2 g(r) \quad [D.10]$$

$\Psi^2_g(r)$ est connu théoriquement, et P_g peut être résolu par une procédure des moindres carrés donnant une valeur $I(r)$ connue.

Une fois la valeur P_g connue, la fonction de pondération W_r est liée à P_g par une matrice, P_{rg} , qui donne la puissance relative dans un groupe modal g pour un décalage du DMD à la position r (voir les références E3 et E4). A ce niveau, une seconde équation aux moindres carrés nécessite d'être résolue:

$$P_g = \sum_r W_r P_{rg} \quad [D.11]$$

Cette approche et ces variantes (ci-dessous) sont alignées avec la modélisation de l'EMB du 10 GbE, qui utilise la distribution de puissance de mode P_g pour 2 000 lasers construits en théorie.

NOTE 1 Il convient que la fonction W_r calculée de cette manière annule la puissance de mode P_g dans les deux derniers groupes modaux (groupes 18 et 19 dans le modèle 10 GbE) pour tenir compte de manière normalisée de l'affaiblissement en mode différentiel, comme cela a été fait dans la modélisation du TIA.

NOTE 2 Si, au cours du calcul, P_g prend des valeurs négatives, il convient que ces valeurs soient mises à zéro avant le calcul de W_r . Si, en retour, W_r prend des valeurs négatives, il convient que ces valeurs soient mises à zéro. Une procédure de moindres carrés itératifs, contrignant W_r et P_g à être positifs, pourra éviter ce problème.

D.8 Documents de référence¹²

- [1] SCHICKETANZ, D. Fitting of a Weighted Gaussian Lowpass Filter to the Transfer Function of Graded-Index Fibres to Reduce Bandwidth Ambiguities. *Elec. Lett.* 19 (1983) 17, pp. 651-652.
- [2] STONE, FT. Problems in Bandwidth Measurement and a Suggested Solution. *J. Lightwave Tech.* 1 (1983) 1, p. 207.
- [3] JEUNHOMME, L., and POCHOLLE, JP. Selective mode excitation of graded index optical fibers. *Applied Optics* 17 (1978) 3, p. 463.
- [4] SNYDER, AW., and LOVE, JD. *Optical Waveguide Theory*. London: Chapman and Hall, 1984.
- [5] PEPELJUGOSKI, P., GOLOWICH, S., RITGER, J., KOLESAR, P., RISTESKI, A. Modeling and Simulation of the next generation multimode fiber. *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 21 N°5, pp. 1242-1255, 2003.

¹² Sera remplacé par l'Annexe F dans la CEI 60793-1-49.

$\Psi^2_g(r)$ is known theoretically, and the P_g can be solved by a least squares procedure given a known $I(r)$.

Once P_g is known, the weighting function W_r is related to it by a matrix, P_{rg} , which gives the relative power in mode group g for a DMD offset at position r (see references E3 and E4). At this point, a second least squares equation needs to be solved:

$$P_g = \sum_r W_r P_{rg} \quad [D.11]$$

This approach and its variants below are aligned with the 10 GbE EMB modelling, which used the modal power distribution P_g for 2 000 theoretically constructed lasers.

NOTE 1 The W_r calculated in this way should zero the Mode Power P_g in the last two mode groups (groups 18 and 19 in the 10 GbE model) to account in a standard way for differential mode attenuation, as was done in the TIA modelling.

NOTE 2 If in the course of calculating P_g negative values should arise, they should be set to zero before calculating W_r . If, in turn, negative values of W_r should arise, they should be set equal to zero. An iterative least squares procedure constraining W_r and P_g to be positive will avoid this problem.

D.8 Reference documents¹²

- [1] SCHICKETANZ, D. Fitting of a Weighted Gaussian Lowpass Filter to the Transfer Function of Graded-Index Fibres to Reduce Bandwidth Ambiguities. *Elec. Lett.* 19 (1983) 17, pp. 651-652.
- [2] STONE, FT. Problems in Bandwidth Measurement and a Suggested Solution. *J. Lightwave Tech.* 1 (1983) 1, p. 207.
- [3] JEUNHOMME, L., and POCHOLLE, JP. Selective mode excitation of graded index optical fibers. *Applied Optics* 17 (1978) 3, p. 463.
- [4] SNYDER, AW., and LOVE, JD. *Optical Waveguide Theory*. London: Chapman and Hall, 1984.
- [5] PEPELJUGOSKI, P., GOLOWICH, S., RITGER, J., KOLESAR, P., RISTESKI, A. Modeling and Simulation of the next generation multimode fiber. *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 21 N°5, pp. 1242-1255, 2003.

¹² The text of this clause is to be superseded by Annex F in 60793-1-49, edition 2.

Annexe E (informative)

Applications supportées par les fibres de catégorie A1

E.1 Applications normalisées au niveau international

Le Tableau E.1 présente certaines applications normalisées au niveau international, ainsi que d'autres applications recommandées, qui sont supportées par les fibres de catégorie A1 et qui peuvent être spécifiées par le biais de cette norme. Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive et beaucoup d'autres applications non spécifiquement énumérées peuvent être aussi supportées par ces mêmes fibres.

Tableau E.1 – Certaines applications normalisées au niveau international supportées par les fibres de type A1a et A1b

Application	Source	Nom
CSMA/CD 10BASE-F	ISO/CEI 8802-3 AM 14	FO CSMA/CD
CSMA/CD1000BASE-SX	IEEE 802.3	Gigabit Ethernet
CSMA/CD1000BASE-LX	IEEE 802.3	Gigabit Ethernet
Anneau à jeton	ISO/CEI 8802-5	FO station attachment
FDDI	ISO/CEI 9314-3	Fibre Distributed Data Interface PMD
LCF FDDI	ISO/CEI 9314-9	Low cost Fibre PMD
HIPPI	ISO/CEI 11518-1	High Perform. Parallel I/F
FC	ISO/CEI 14165-1	Fibre Channel
ATM LAN 155,52 Mbit/s	ATM af-phy-0062.000	ATM-155 Multimode OF
ATM LAN 622,08 Mbit/s	ATM af-phy-0046.000	ATM-622 Multimode OF
10GBASE-S	IEEE 802.3ae	10-Gigabit Ethernet
10GBASE-LX4	IEEE 802.3ae	10-Gigabit Ethernet

NOTE Lorsque la présente norme a été préparée (printemps 2002), certains types de fibres et certaines cellules de largeur de bande indiqués dans le Tableau E.2 étaient cités dans toutes les normes d'application de ce tableau. L'application 10-Gigabit Ethernet fait également référence au type de fibre A1a.2.

E.2 Spécifications de largeurs de bande à usage commercial

Le Tableau E.2 présente certaines spécifications de largeurs de bande à usage commercial fréquemment utilisées pour les fibres de type A1a et A1b. Cette liste n'est pas non plus exhaustive et beaucoup d'autres spécifications qui ne sont pas énumérées ici peuvent être utilisées sur le marché.

Annex E (informative)

Applications supported by A1 fibres

E.1 Internationally standardised applications

Table E.1 shows various internationally standardised applications, as well as other recommended applications, which are supported by A1 fibres and which may be specified through this standard. It is not an exhaustive list, and many other applications not specifically listed may also be supported.

Table E.1 – Some internationally standardised applications supported by A1a and A1b fibres

Application	Source	Name
CSMA/CD 10BASE-F	ISO/IEC 8802-3 AM 14	FO CSMA/CD
CSMA/CD1000BASE-SX	IEEE 802.3	Gigabit Ethernet
CSMA/CD1000BASE-LX	IEEE 802.3	Gigabit Ethernet
Token Ring	ISO/IEC 8802-5	FO station attachment
FDDI	ISO/IEC 9314-3	Fibre Distributed Data Interface PMD
LCF FDDI	ISO/IEC 9314-9	Low cost Fibre PMD
HIPPI	ISO/IEC 11518-1	High Perform. Parallel I/F
FC	ISO/IEC 14165-1	Fibre Channel
ATM LAN 155,52 Mbit/s	ATM af-phy-0062.000	ATM-155 Multimode OF
ATM LAN 622,08 Mbit/s	ATM af-phy-0040.000	ATM-622 Multimode OF
10GBASE-S	IEEE 802.3ae	10-Gigabit Ethernet
10GBASE-LX4	IEEE 802.3ae	10-Gigabit Ethernet

NOTE At the time of preparation of this standard (spring 2002), some of the fibre types and bandwidth cells listed in Table E.2 were referred to in all the application standards indicated in this table. The 10-Gigabit Ethernet application also references fibre type A1a.2.

E.2 Used commercial bandwidth specifications

Table E.2 shows some frequently used commercial bandwidth specifications for A1a and A1b fibres. This list also is not exhaustive and many other specifications not listed here may be used in the market.

Tableau E.2 – Spécifications de largeurs de bande à usage commercial typiquement utilisées pour les fibres multimodales de type A1a et A1b à gradient d'indice

Type de fibre	Largeur de bande modale minimale pour la condition OFL ^a (sauf indication contraire) à 850 nm (MHz·km)	Largeur de bande modale minimale pour la condition OFL ^a (sauf indication contraire) à 1 300 nm (MHz·km)	Zone d'application possible
A1a.1	200	400	Faible débit binaire/courte distance/cordons de brassage
A1a.1	400	600	Débit binaire moyen/moyenne distance
A1a.1	500	500	Débit binaire moyen/moyenne distance
A1a.1	400	800	Débit binaire moyen/moyenne distance
A1a.1	800	800	Débit binaire élevé/longue distance
A1a.1	600	1 200	Débit binaire élevé/longue distance
A1a.2	1 500 2 000 EMB ^b	500	Débit binaire très élevé (10 Gb/s) / longue distance; 850 nm optimisés
A1b	100	200	Faible débit binaire/courte distance/cordons de brassage
A1b	160	300	Faible débit binaire/courte distance
A1b	160 ou 200	500	Débit binaire moyen/moyenne distance
A1b	200	600	Débit binaire moyen/moyenne distance
A1b	200	800	Débit binaire élevé/longue distance
A1b	800	200	Débit binaire élevé/longue distance: 850 nm optimisés.

^a OFL = Overfilled Launch (injection saturée)

^b EMB = Largeur de bande modale efficace, voir Annexes D et G.

E.3 Correspondances entre les types de fibres dans la présente norme et l'ISO/CEI 11801

La présente norme spécifie les types de fibres A1a.1 et A1b avec un diamètre de cœur spécifique et une gamme de cellule de largeur de bande OFL; l'ISO/CEI spécifie les types de fibres OM1 et OM2 avec une gamme de diamètres de cœur et une cellule de largeur de bande spécifique. Ces exigences pour OM1 et OM2 constituent un sous-ensemble des exigences CEI plus générales pour les types A1a.1 et A1b. Les exigences de la présente norme pour le type A1a.2 et de l'ISO/CEI 11801 pour le type de fibre OM3 sont identiques. La correspondance est donnée au Tableau E.3.

Table E.2 – Typically used commercial bandwidth specifications for A1a and A1b graded-index multimode fibres.

Fibre type	Minimum modal bandwidth for OFL ^{a)} condition (unless otherwise indicated) at 850 nm (MHz·km)	Minimum modal bandwidth for OFL ^{a)} condition (unless otherwise indicated) at 1300 nm (MHz·km)	Possible application area
A1a.1	200	400	Low bit rate/short distance/patch cords
A1a.1	400	600	Medium bit rate/medium distance
A1a.1	500	500	Medium bit rate/medium distance
A1a.1	400	800	Medium bit rate/medium distance
A1a.1	800	800	High bit rate/long distance
A1a.1	600	1 200	High bit rate/long distance
A1a.2	1 500 2 000 EMB ^{b)}	500	Very high bit rate (10 Gb/s) / long distance; 850 nm optimised.
A1b	100	200	Low bit rate/short distance/patch cords
A1b	160	300	Low bit rate/short distance
A1b	160 or 200	500	Medium bit rate/medium distance
A1b	200	600	Medium bit rate/medium distance
A1b	200	800	High bit rate/long distance
A1b	800	200	High bit rate/long distance: 850 nm optimised.

^a OFL = Overfilled launch

^b EMB = Effective modal bandwidth, see Annexes D and G.

E.3 Cross reference fibres types in this standard and ISO/IEC 11801

This standard specifies fibre types A1a.1 and A1b with a specific core diameter and a range of OFL bandwidth cells; ISO/IEC specifies fibre types OM1 and OM2 with a range of core diameters and a specific bandwidth cell. These requirements for OM1 and OM2 are a subset of the more general IEC requirements for A1a.1 and A1b. The requirements for fibre type A1a.2 contained in this standard and the ISO/IEC 11801 requirements for fibre type OM3 are identical. The cross reference is given in Table E.3.

Tableau E.3 – Tableau de correspondance des types de fibres et de cellule de largeur de bande de la présente norme et de l'ISO/IEC 11801

Attribut	CEI 60793-2-10			ISO/CEI 11801			
	A1b	A1a.1	A1a.2	OM1	OM2	OM3	
Type de fibre	A1b	A1a.1	A1a.2	50	62,5	50	62,5
Diamètre du cœur (µm)	62,5	50	50	50	62,5	50	62,5
Correspondances avec les types de fibres de la CEI	-	-	-	A1a.1	A1b	A1a.1	A1b
Produit largeur de bande modale minimale-longueur pour injection saturée à 850 nm (MHz·km)	100-800	200-800	1 500	200	500	1500	1500
Produit largeur de bande modale minimale-longueur pour injection saturée à 1 300 nm (MHz·km)	200-1 000	200-1 200	500	500	500	500	500
Produit largeur de bande modale minimale efficace-longueur à 850 nm (MHz·km)	Non spécifié	Non spécifié	2 000	Non spécifié	Non spécifié	2 000	2 000

E.4 Documents de référence

ISO/CEI 8802-3:1996, *Technologies de l'information – Télécommunications et échange d'information entre systèmes – Réseaux locaux et métropolitains – Prescriptions spécifiques – Partie 3: Accès multiple par surveillance du signal et détection de collision (CSMA/CD) et spécifications pour la couche physique* (en anglais seulement)

ISO/CEI 8802-5: 1998/Amd. 1: 1998, *Technologies de l'information – Télécommunications et échange d'information entre systèmes – Réseaux locaux et métropolitains – Exigences spécifiques – Partie 5: Méthode d'accès par anneau à jeton et spécifications pour la couche physique* (en anglais seulement)

Amendement 1:1998, *Opération par dédicace d'anneau à jeton et milieux en fibres optiques*

ISO/CEI 9314-3:1990, *Systèmes de traitement de l'information – Interface de données distribuées sur fibre (FDDI) – Partie 3: Couche physique déterminée par le milieu (PMD)* (en anglais seulement)

ISO/CEI 11518-1:1995, *Technologies de l'information – Interface parallèle à haute performance – Partie 1: Spécification du protocole mécanique, électrique et de signalisation (HIPPI-PH)* (en anglais seulement)

ISO/CEI 11801: *Technologies de l'information – Câblage générique des locaux d'utilisateurs* (en anglais seulement)

ISO/IEC 14165-211:1999, *Technologies de l'information – Canal de fibres – Partie 211: Mappage à HIPPI-FP (FC-FP)* (en anglais seulement)

ATM af-phy-0062.000:1996-07, *155.52 Mbps Physical Layer Interface Specification for Short Wavelength Laser*

ATM af-phy-0046.000:1996-01, *622.08 Mbps Physical Layer Specification*