

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



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

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



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Optical fibres –

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

Fibres optiques –

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

W

ICS 33.180.10

ISBN 978-2-88912-406-0

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Specifications.....	7
3.1 General requirements.....	7
3.2 Dimensional requirements	8
3.3 Mechanical requirements.....	9
3.4 Transmission requirements	9
3.5 Environmental requirements	11
3.5.1 Overview	11
3.5.2 Mechanical environmental requirements (common to all fibres in category A1).....	12
3.5.3 Transmission environmental requirements.....	13
Annex A (normative) Family specifications for A1a multimode fibres.....	14
Annex B (normative) Family specifications for A1b multimode fibres.....	16
Annex C (normative) Family specifications for A1d multimode fibres.....	18
Annex D (normative) Fibre differential mode delay (DMD) and calculated effective modal bandwidth (EMB_C) requirements.....	20
Annex E (informative) Modal bandwidth considerations and transmitter requirements	25
Annex F (informative) Bandwidth nomenclature explanation.....	27
Annex G (informative) Preliminary indications for items needing further study.....	28
Annex H (informative) Applications supported by A1 fibres	30
Annex I (informative) 1-Gbit, 10-Gbit, 40-Gbit and 100-Gbit Ethernet applications	34
Bibliography.....	38
Figure 1 – Relation between bandwidths at 850 nm and 1 300 nm	11
Figure D.1 – DMD template requirements	21
Table 1 – Dimensional attributes and measurement methods.....	8
Table 2 – Dimensional requirements common to category A1 fibres.....	8
Table 3 – Additional dimensional attributes required in the family specifications	8
Table 4 – Mechanical attributes and measurement methods	9
Table 5 – Mechanical requirements common to category A1 fibres	9
Table 6 – Transmission attributes and measurement methods	9
Table 7 – Additional transmission attributes required in family specifications	10
Table 8 – Environmental exposure tests	11
Table 9 – Attributes measured for environmental tests.....	11
Table 10 – Strip force for environmental tests	12
Table 11 – Tensile strength for environmental tests	12
Table 12 – Stress corrosion susceptibility for environmental tests.....	12
Table 13 – Change in attenuation for environmental tests.....	13
Table A.1 – Dimensional requirements specific to A1a fibres	14
Table A.2 – Mechanical requirements specific to A1a fibres.....	14

Table A.3 – Transmission requirements specific to A1a fibres	15
Table B.1 – Dimensional requirements specific to A1b fibres	16
Table B.2 – Mechanical requirements specific to A1b fibres	16
Table B.3 – Transmission requirements specific to A1b fibres	17
Table C.1 – Dimensional requirements specific to A1d fibres	18
Table C.2 – Mechanical requirements specific to A1d fibres	18
Table C.3 – Transmission requirements specific to A1d fibres	19
Table D.1 – DMD templates for A1a.2 fibres	20
Table D.2 – DMD interval masks for A1a.2 fibres	22
Table D.3 – DMD Weightings	23
Table D.4 – DMD templates for A1a.3 fibres	24
Table D.5 – DMD interval masks for A1a.3 fibres	24
Table F.1 – Bandwidth nomenclature explanation	27
Table H.1 – Some internationally standardised applications supported by A1a and/or A1b fibres	30
Table H.2 – Typically used commercial bandwidth specifications for A1a and A1b graded-index multimode fibres	31
Table H.3 – Cross reference of fibre types and bandwidth cells for this standard and ISO/IEC 11801	32
Table I.1 – Summary of 1 Gbit/s , 10 Gbit/s , 40 Gbit/s and 100 Gbit/s Ethernet requirements and capabilities for A1b fibres	35
Table I.2 – Summary of 1 Gbit/s , 10 Gbit/s , 40 Gbit/s and 100 Gbit/s Ethernet requirements and capabilities for A1a.1 fibres	36
Table I.3 – Summary of 1 Gbit/s , 10 Gbit/s , 40 Gbit/s and 100 Gbit/s Ethernet requirements and capabilities for A1a.2 and A1a.3 fibres	37

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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 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 fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2007. This edition constitutes a technical revision.

The major changes with respect to the previous edition are listed below:

- addition of type A1a.3 fibre;
- reduction of core diameter tolerance from 3,0 to 2,5 μm for A1a fibres.

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

CDV	Report on voting
86A/1295/CDV	86A/1328/RVC

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.

A list of all parts of the IEC 60793 series, published under the general title *Optical fibres* can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability 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.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

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 applies to 50/125 μm fibre, while A1a.2 and A1a.3 apply to two bandwidth grades of 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; on-premises intra-building and inter-building fibre installations including Data Centres, LANs, Storage Area Networks, 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, *Optical fibres – Part 1-1: Measurement methods and test procedures – General and guidance*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

IEC 60793-2:2007, *Optical fibres – Part 2: Product specifications - General*

IEC 60794-1-1, *Optical fibre cables – Part 1-1: Generic specification - General*

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

ISO/IEC 11801:2002, *Information technology – Generic cabling for customer premises*

3 Specifications

3.1 General requirements

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.

3.2 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 – Dimensional requirements common to category A1 fibres

Attributes	Unit	Limits
Core non-circularity	%	≤6
Primary coating diameter – uncoloured ^a	μm	245 ± 10
Primary coating diameter – coloured ^a	μm	250 ± 15
Primary coating-cladding concentricity error	μm	≤12,5
Fibre length	km	^b
^a 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		
^b Length requirements vary and should be agreed between the supplier and the customer.		

Table 3 – Additional dimensional attributes required in the family specifications

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

3.3 Mechanical requirements

Mechanical attributes and measurement methods are given in Table 4.

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

Table 4 – Mechanical attributes and measurement 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 – Mechanical requirements common to category A1 fibres

Attributes	Unit	Limits
Proof stress level	GPa	$\geq 0,69^a$
Strip force (average) ^b	N	$1,0 \leq F_{ave.strip} \leq 5,0$
Strip force (peak) ^b	N	$1,0 \leq F_{peak.strip} \leq 8,9$
Tensile strength (median) for 0,5 m specimen length	GPa	$\geq 3,8$
Stress corrosion susceptibility constant	n_d	≥ 18
^a The proof stress 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 7.4 of IEC/TR 62048.		
^b Either average strip force or peak strip force, which are defined in the test procedure, may be specified by agreement between the supplier and the customer.		

3.4 Transmission requirements

Transmission attributes and measurement methods are given in Table 6.

Table 7 lists additional attributes that shall be specified by each family specification.

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

Table 7 – Additional transmission attributes required in family specifications

Attributes
Attenuation coefficient
Modal bandwidth
Chromatic dispersion
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 the supplier and the customer. For commercial purposes, the modal bandwidth is linearly normalized to 1 km.

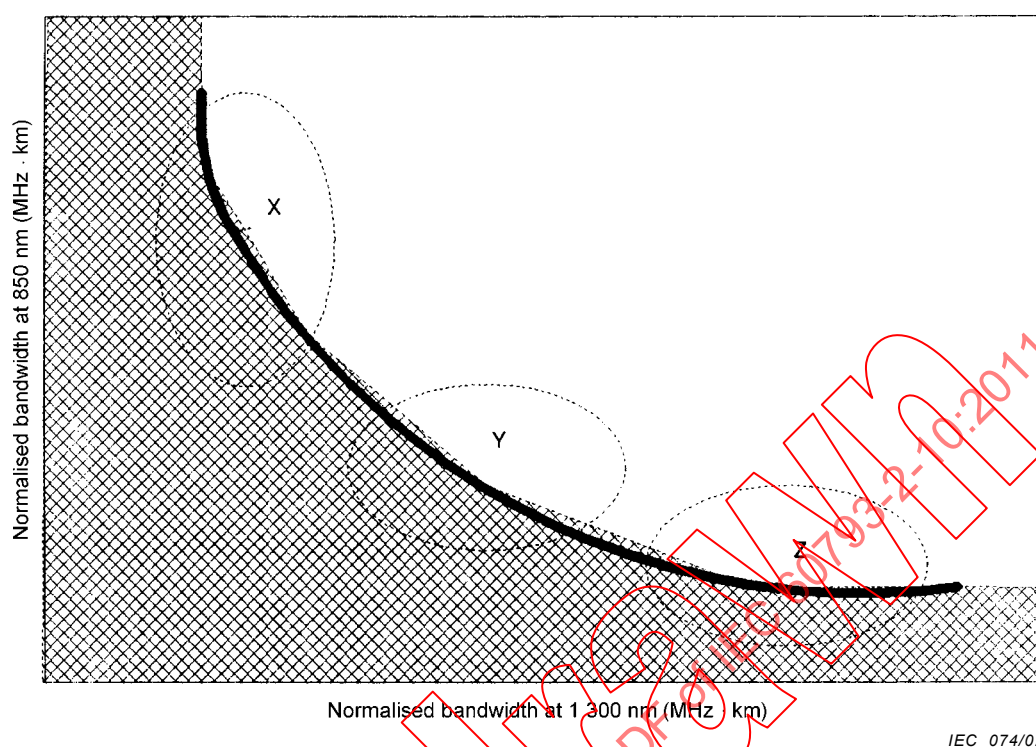
For guidance purposes on bandwidth, Table H.1 shows a number of internationally standardised applications supported by A1 fibres, and Table H.2 gives a (limited) number of frequently used commercial bandwidth specifications for A1a and A1b fibres.

The indicated maximum attenuation values apply to uncabled optical fibres; for the maximum cabled attenuation values, reference is made to IEC 60794-1-1, 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 1, depending on the refractive index parameter, g , (see 5.1 of IEC 60793-2). The shaded region under the curve of Figure 1 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).



IEC 074/02

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

3.5 Environmental requirements

3.5.1 Overview

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

- Relevant environmental attributes and test procedures are given in Table 8.
- Measurements of a particular mechanical or transmission attribute that may change on the application of the environment are listed in Table 9.

Table 8 – 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 9 – Attributes measured for environmental tests

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

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.

3.5.2 Mechanical environmental requirements (common to all fibres in category A1)

3.5.2.1 Overview

These tests are, in practice, the most severe requirements amongst the environments defined in Table 8.

Tables 10, 11, and 12 give the prescriptions for strip force, tensile strength and stress corrosion susceptibility respectively.

3.5.2.2 Strip force

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

Table 10 – Strip force for environmental tests

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

3.5.2.3 Tensile strength

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

Table 11 – 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	$\geq 3,03$	$\geq 2,76$
NOTE These requirements do not apply to hermetically coated fibre.		

3.5.2.4 Stress corrosion susceptibility

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

Table 12 – Stress corrosion susceptibility for environmental tests

Environment	Stress corrosion susceptibility constant, <i>nd</i>
Damp heat	≥ 18
NOTE This requirement does not apply to hermetically coated fibre.	

3.5.3 Transmission environmental requirements

Change in attenuation from the initial value shall be less than the values in Table 13. Attenuation shall be measured periodically during the entire exposure to each environment and after removal.

Table 13 – Change in attenuation for environmental tests

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

Annex A (normative)

Family specifications for A1a multimode fibres

A.1 General

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. Three 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 types A1a.2 and A1a.3 apply to two bandwidth grades of 850 nm laser-optimised 50/125 μm fibre. The dimensional, mechanical and environmental requirements are common to all. The differences in the transmission requirements are specified in Table A.3.

A.2 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	$50 \pm 2,5$	
Core-cladding concentricity error	μm	≤ 3	
Core non-circularity	%	≤ 6	3.2
Primary coating diameter – uncoloured	μm	245 ± 10	3.2
Primary coating diameter – coloured	μm	250 ± 15	3.2
Primary coating-cladding concentricity error	μm	$\leq 12,5$	3.2
Length	km	[see 3.2]	3.2

A.3 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	$\geq 0,69$ SS	3.3
Strip force (average) ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{ave.strip}} \leq 5,0$	3.3
Strip force (peak) ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{peak.strip}} \leq 8,9$	3.3

A.4 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	A1a.2	A1a.3	
Maximum attenuation coefficient at 850 nm	dB/km	2,4 – 3,5 ^a	2,5		
Maximum attenuation coefficient at 1300 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	1 500	3 500	
Minimum modal bandwidth-length product for overfilled launch at 1 300 nm	MHz•km	200 – 1 200 ^a	500		
Differential mode delay at 850 nm	ps/m	Not specified	Meet Clause D.1 or Clause D.2	Meet Clause D.3 or Clause D.4	Annexes D, E, F, G
Numerical aperture	Unit less	0,20 ± 0,015			
Maximum macrobending loss 100 turns on mandrel diameter of 75 mm at wavelengths 850 nm and 1 300 nm ^b	dB	0,5			
Zero dispersion wavelength, λ_0	nm	$1\,295 \leq \lambda_0 \leq 1\,340$ ^c			
Zero dispersion slope, S_0	ps/nm ² •km				
- from $1\,295\text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,310\text{ nm}$		$\leq 0,105$ ^c			
- from $1\,310\text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,340\text{ nm}$		$\leq 0,000375 (1590 - \lambda_0)$ ^c			

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

^b 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.

^c The worst case chromatic dispersion coefficient at 850 nm (e.g. $S_n = 0,09375$ ps/nm²•km at $\lambda_n = 1\,340$ nm or $S_0 = 0,10125$ ps/nm²•km at $\lambda_0 = 1\,320$ nm) is -104 ps/nm•km.

A.5 Environmental requirements

The requirements of 3.5 shall be met.

Annex B (normative)

Family specifications for A1b multimode fibres

B.1 General

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.2 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	3.2
Primary coating diameter – uncoloured	µm	245 ± 10	3.2
Primary coating diameter – coloured	µm	250 ± 15	3.2
Primary coating-cladding concentricity error	µm	≤ 12,5	3.2
Length	Km	[see 3.2]	3.2

B.3 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	3.3
Strip force (average) ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{ave.strip} \leq 5,0$	3.3
Strip force (peak) ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{peak.strip} \leq 8,9$	3.3

B.4 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 1 300 nm ^a	dB/km	0,7 – 1,5	
Minimum modal bandwidth at 850 nm ^a	MHz·km	100 – 800	
Minimum modal bandwidth at 1 300 nm ^a	MHz·km	200 – 1 000	
Numerical aperture	Unit less	0,275 ± 0,015	
Maximum macrobending loss 100 turns on mandrel diameter of 75 mm at wavelengths 850 nm and 1300 nm ^b	dB	0,5	
Zero dispersion wavelength, λ_0	nm	$1\,320 \leq \lambda_0 \leq 1\,365$ ^c	
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	$\leq 0,11$ ^c $\leq 0,001 (1\,458 - \lambda_0)$ ^c	
^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. ^c The worst case chromatic dispersion coefficient at 850 nm ($S_n = 0,11 \text{ ps/nm}^2\cdot\text{km}$ at $\lambda_n = 1\,348 \text{ nm}$) is $-125 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}$.			

B.5 Environmental requirements

The requirements of 3.5 shall be met.

Annex C (normative)

Family specifications for A1d multimode fibres

C.1 General

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.2 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	3.2
Primary coating diameter – uncoloured	µm	245 ± 10	3.2
Primary coating diameter – coloured	µm	250 ± 15	3.2
Primary coating-cladding concentricity error	µm	$\leq 12,5$	3.2
Length	km	[see 3.2]	3.2

C.3 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	$\geq 0,69$ SS	3.3
Strip force (average)SS	N	$1,0 \leq F_{ave.strip} \leq 5,0$	3.3
Strip force (peak) SS	N	$1,0 \leq F_{peak.strip} \leq 8,9$	3.3

C.4 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 ± 0,03 or 0,29 ± 0,03	
Maximum macrobending loss	dB	For further study	
Zero dispersion wavelength, λ_0	nm	$1\,330 \leq \lambda_0 \leq 1\,385$ ^b	
Zero dispersion slope S_0 – from $1\,330 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,365 \text{ nm}$ – from $1\,365 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,385 \text{ nm}$	ps/nm ² ·km	$\leq 0,105$ ^b $\leq 0,0005 (1\,575 - \lambda_0)$ ^b	
^a The limit column forms a range of values that may be specified. ^b The worst case chromatic dispersion coefficient at 850 nm ($S_n = 0,105 \text{ ps/nm}^2\cdot\text{km}$ at $\lambda_n = 1\,365 \text{ nm}$) is -126 ps/nm·km.			

C.5 Environmental requirements

The requirements of 3.4 shall be met.

Annex D (normative)

Fibre differential mode delay (DMD) and calculated effective modal bandwidth (EMB_c) requirements

D.1 A1a.2 fibre DMD requirements

D.1.1 General

A1a.2 fibres selected using the DMD Mask method shall meet the requirements of D.1.1 and D.1.2. The radial limits, R_{INNER} and R_{OUTER} , were established for transmitters meeting the requirements of Clause E.2.

Refer to Annex E for information regarding effective modal bandwidth (EMB).

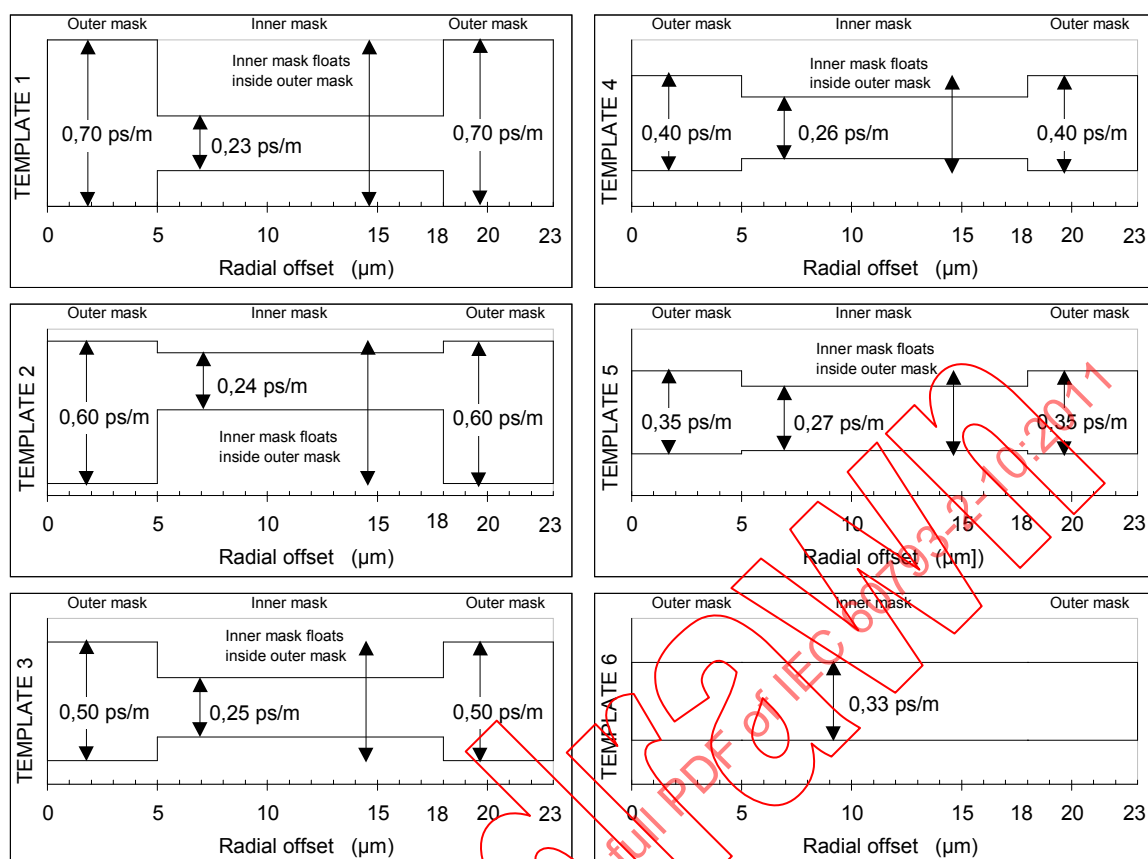
D.1.2 DMD templates

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

Table D.1 – DMD templates for A1a.2 fibres

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	$\leq 0,23$	$\leq 0,70$
2	$\leq 0,24$	$\leq 0,60$
3	$\leq 0,25$	$\leq 0,50$
4	$\leq 0,26$	$\leq 0,40$
5	$\leq 0,27$	$\leq 0,35$
6	$\leq 0,33$	$\leq 0,33$

The DMD requirements in D.1.2 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).



IEC 532/11

Figure D.1 – DMD template requirements

The “floating” characteristic of the inner mask is also illustrated in Figure D.1. In this figure, the inner mask (5 μm to 18 μm) may be positioned vertically (temporally) anywhere within the outer mask (0 μm to 23 μm). 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 μm to 23 μm creating a “flat” mask.

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.1.3 DMD interval masks

The A1a.2 fibre DMD shall not exceed 0,25 ps/m for any of the radial offset intervals given in Table D.2

Table D.2 – DMD interval masks for A1a.2 fibres

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.2 A1a.2 fibre EMB_c requirements

D.2.1 General

A1a.2 fibres selected using the EMB_c method shall meet the requirements of D.2.2.

D.2.2 Calculated effective bandwidth

The DMD optical pulse shapes can be weighted by a set of launch distributions to determine a corresponding set of EMB_c values. The minimum EMB_c within this set shall meet the requirement of Equation (D.1).

$$\text{Minimum } EMB_c \geq 1770 \text{ MHz} \cdot \text{km} \quad (\text{D.1})$$

where

minimum EMB_c is determined from the complex transfer function as described in IEC 60793-1-49 using the weights defined in Table D.3 below.

NOTE 1 Minimum EMB_c is a fibre parameter and its value may not be optimal for use in system models. Refer to Annex E for information regarding the corresponding system parameter called the effective modal bandwidth (EMB).

NOTE 2 Compliance with this minimum EMB_c requirement ensures an EMB value of $\geq 2\,000 \text{ MHz} \cdot \text{km}$.

NOTE 3 Refer to Annex F for additional explanation of bandwidth nomenclature.

Weightings within Table D.3 are provided for DMD measured at $1 \mu\text{m}$ radial intervals starting from the centre of the core ($r = 0$) for ten simulated lasers with encircled flux (EF) metrics that correspond to those of ten actual lasers. The DMD weightings in Table D.3 are specific to sources meeting the specifications of Clause E.2.

Table D.3 – DMD weightings

Radial position	ID laser									
r μm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,033023	0,023504	0	0	0	0,015199	0,016253	0,022057	0,01043	0,015681
2	0,262463	0,188044	0	0	0	0,12091	0,129011	0,17639	0,083496	0,124978
3	0,884923	0,634634	0	0	0	0,407702	0,434844	0,595248	0,281802	0,421548
4	2,009102	1,447235	0,007414	0,005637	0,003034	0,925664	0,987184	1,351845	0,65028	0,957203
5	3,231216	2,376616	0,072928	0,055488	0,029856	1,488762	1,5876	2,174399	1,130599	1,539535
6	3,961956	3,052908	0,262906	0,20005	0,107634	1,825448	1,946614	2,666278	1,627046	1,887747
7	3,694686	3,150634	0,637117	0,483667	0,258329	1,702306	1,815285	2,486564	2,044326	1,762955
8	2,644369	2,732324	1,197628	0,89695	0,458494	1,218378	1,299241	1,780897	2,29172	1,292184
9	1,397552	2,060241	1,916841	1,402833	0,661247	0,643911	0,686635	0,945412	2,280813	0,790844
10	0,511827	1,388339	2,755231	1,957805	0,826035	0,238557	0,25585	0,360494	1,937545	0,55938
11	0,110549	0,834722	3,514797	2,433247	1,000204	0,098956	0,131429	0,163923	1,383006	0,673655
12	0,004097	0,419715	3,883317	2,639299	1,294439	0,204274	0,327091	0,318712	0,878798	1,047689
13	0,000048	0,160282	3,561955	2,397238	1,813982	0,529982	0,848323	0,778983	0,679756	1,589037
14	0,001111	0,047143	2,617093	1,816953	2,50695	1,024948	1,567513	1,383174	0,81236	2,138626
15	0,005094	0,044691	1,480325	1,296977	3,164213	1,611695	2,224027	1,853992	1,074702	2,470827
16	0,013918	0,116152	0,593724	1,240553	3,572113	2,210689	2,55506	1,914123	1,257323	2,361764
17	0,02632	0,219802	0,153006	1,70002	3,618037	2,707415	2,464566	1,511827	1,255967	1,798213
18	0,036799	0,307088	0,012051	2,240664	3,329662	2,9388	2,087879	0,90833	1,112456	1,059264
19	0,039465	0,329314	0	2,394077	2,745395	2,73932	1,577111	0,386991	0,879309	0,444481
20	0,032152	0,268541	0	1,952429	1,953241	2,090874	1,056343	0,11176	0,608183	0,123304
21	0,019992	0,16697	0	1,213833	1,137762	1,261564	0,595102	0,014829	0,348921	0,012552
22	0,008832	0,073514	0	0,534474	0,494404	0,55214	0,256718	0,001818	0,15112	0
23	0,002612	0,021793	0	0,158314	0,146517	0,163627	0,076096	0,00054	0,044757	0
24	0,000282	0,002679	0	0,019738	0,018328	0,020443	0,009446	0	0,005639	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

D.3 A1a.3 fibre DMD requirements

D.3.1 General

A1a.3 fibres selected using the DMD Mask method shall meet the requirements of D.3.2 and D.3.2. See Clause D.1 for supporting information. The radial limits, R_{INNER} and R_{OUTER} , were established for transmitters meeting the requirements of Clause E.2.

Refer to Annex E for information regarding effective modal bandwidth (EMB).

D.3.2 DMD templates

A1a.3 fibres shall meet at least one of the three templates in Table D.4, each of which includes an inner and outer mask requirement, when measured per IEC 60793-1-49.

Table D.4 – DMD templates for A1a.3 fibres

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	$\leq 0,10$	$\leq 0,30$
2	$\leq 0,11$	$\leq 0,17$
3	$\leq 0,14$	$\leq 0,14$

D.3.3 DMD interval masks

The A1a.3 fibre DMD shall not exceed 0,11 ps/m for any of the radial offset intervals given in Table D.5 when measured per IEC 60793-1-49.

Table D.5 – DMD interval masks for A1a.3 fibres

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

D.4 A1a.3 fibre EMB_c requirements

D.4.1 General

A1a.3 fibres selected using the EMB_c method shall meet the requirements of D.4.2. See Clause D.2 for supporting information.

D.4.2 Calculated effective bandwidth

The DMD optical pulse shapes can be weighted by a set of launch distributions to determine a corresponding set of EMB_c values. The minimum EMB_c within this set shall meet the requirement of Equation (D.2).

$$\text{Minimum } EMB_c \geq 4 \, 160 \text{ MHz} \cdot \text{km} \quad (\text{D.2})$$

where

minimum EMB_c is determined from the complex transfer function as described in IEC 60793-1-49 using the weights defined in Table D.3.

Annex E (informative)

Modal bandwidth considerations and transmitter requirements

E.1 Background

When a multimode fibre is used with laser transmitters, the bandwidth of the combination may vary widely, depending on the details of the modal structure of the lasers, the modal delay structure of the fibre, and the coupling between the laser and the fibre modes. More precisely, modal bandwidth 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.

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 various laser transmitters.

By using lasers which couple primarily into modes with well bounded delays, minimum modal bandwidth can be ensured. IEC 61280-1-4 can be used to measure the launch condition of laser transmitters into multimode fibre [15]¹. Appropriately selected launch condition specifications can restrict the modes of the fibre used by the transmitters primarily to those with appropriately limited differential mode delays.

A minimum modal bandwidth-length product can be ensured by combining a transmitter meeting the specifications in Clause E.2 below with a 50-µm fibre meeting the specifications in Annex D.

E.2 Transmitter encircled flux (EF) and centre wavelength requirements

E.2.1 Encircled flux

The DMD radial limits of the inner, outer and interval masks specified in D.1 and D.3, and the DMD weightings specified in D.2 and D.4, were established in conjunction with the particular bounded range of laser launch conditions specified in Equations (E.1) and (E.2). The minimum modal bandwidth for launch conditions outside of this range has not been determined, but will be lower than for launch conditions within this range.

The transmitter launch condition power distribution should meet the requirements of Equations (E.1) and (E.2) when measured per IEC 61280-1-4 [15] with the transmitter coupled into a 50-µm fibre meeting the specifications of this document.

$$\text{EF at radius } 4,5 \mu\text{m} \leq 30\% \quad (\text{E.1})$$

$$\text{EF at radius } 19 \mu\text{m} \geq 86\% \quad (\text{E.2})$$

E.2.2 Centre wavelength

Because the fibre's modal delays change with wavelength, the transmitter centre wavelength should be kept close to the nominal DMD measurement wavelength of 850 nm to achieve the highest modal bandwidth performance over the population of passing fibres. It may be

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

appropriate to adjust the modal bandwidth when the transmitter is not operating at 850 nm [6]. See TIA TSB-172 for an illustration of bandwidth roll-off for fibres with bandwidth similar to fibre type A1a.3 [14].

The laser transmitter centre wavelength (λ_c) should meet the requirements of Equation (E.3) when tested per IEC 61280-1-3 [16].

$$840 \text{ nm} \leq \lambda_c \leq 860 \text{ nm} \quad (\text{E.3})$$

Several published or late-stage draft application standards meet the requirements of Clause E.2 [20 – 22] .

E.3 EMB

During the development of fibre type A1a.2, a detailed time-domain Monte-Carlo simulation was used to assess the performance-screening ability of various DMD mask and DMD weighting proposals for transmitters meeting the specifications of Clause E.2 [1 – 12]. The proposals were judged based on their ability to pass fibres that did not cause inter-symbol interference (ISI) to exceed a specific value more often than a 0,5 % rate [11]. The specific ISI value was established via the IEEE 802.3ae link budget spreadsheet [13] for a channel that included the effects of transmitter rise time, receiver bandwidth, and a fibre with 2 000 MHz•km modal bandwidth. Thus, through the use of the Monte-Carlo simulation, fibres meeting the requirements of type A1a.2 provide a minimum *EMB* of 2 000 MHz•km.

The minimum *EMB* value is aligned with the assumptions of the IEEE 802.3ae link budget spreadsheet. Of particular relevance is the fact that in the spreadsheet the ISI impairment is modelled under Gaussian waveform assumptions for the transmitter and fibre outputs. According to the results of the Monte-Carlo simulation for fibres passing the requirements, the spreadsheet relationship between ISI and minimum fibre modal bandwidth is pessimistic. Therefore, the calculation of *EMB* from weighted DMD included a factor of 1,13 to align the fibre requirements developed with the time-domain Monte-Carlo simulation with the spreadsheet model as shown in Equation (E.4).

$$EMB = 1,13 \times \text{minimum } EMB_c \quad (\text{E.4})$$

If other models are used, then a different *EMB* may be appropriate.

Fibres passing the requirements of Clauses D.3 and D.4 in this specification (i.e. A1a.3 fibres) provide a minimum modal bandwidth at 850 nm that is 2,35 times higher than the minimum modal bandwidth of those passing the requirements of Clauses D.1 and D.2 (i.e. A1a.2 fibres). As such, their minimum *EMB* is also 2,35 times higher under the same link budget spreadsheet assumptions as stated by Equation (E.5).

$$EMB \geq 2,35 \times 2\,000 \text{ MHz}\cdot\text{km} \geq 4\,700 \text{ MHz}\cdot\text{km} \quad (\text{E.5})$$

System performance studies with actual fibres and laser sources support this relationship [17 - 19].

Annex F (informative)

Bandwidth nomenclature explanation

Table F.1 provides explanations of bandwidth parameters that have similar names and abbreviations.

Table F.1 – Bandwidth nomenclature explanation

Parameter name and abbreviation	Parameter description
Calculated effective modal bandwidth (EMB_C)	The calculated modal bandwidth resulting from a particular weighting of a particular DMD
Minimum calculated effective modal bandwidth (minimum EMB_C)	The minimum calculated modal bandwidth resulting from a particular set of weightings of a particular DMD
Effective modal bandwidth (EMB)	The modal bandwidth that results from multiplying the minimum calculated effective modal bandwidth by 1.13 to arrive at a value aligned with the assumptions of the IEEE 802.3ae link model for transmitters compliant to Clause E.2

Annex G (informative)

Preliminary indications for items needing further study

G.1 Effective modal bandwidth (*EMB*) at 1 300 nm

Chromatic dispersion properties allow DMD measured at one wavelength to be transformed to DMD at another wavelength. Thus, 850 nm DMD may be used to predict minimum effective modal bandwidth-length product at 1 300 nm. Preliminary engineering analysis indicates that fibres meeting the requirements of Annex D for $\geq 2\,000\text{ MHz}\cdot\text{km}$ *EMB* at 850 nm will also provide $\geq 500\text{ MHz}\cdot\text{km}$ *EMB* at 1 300 nm.

Some 1 300-nm laser-based transmitters are defined to operate into both multimode fibre and single-mode fibre. In order to provide better assurance that multimode fibres, with bandwidth performance specified only on the basis of overfilled launch conditions, deliver at least their minimum overfilled bandwidth-length product for 1 300-nm transmitters designed to launch into single-mode fibre (e.g. 1000BASE-LX), IEEE 802.3 [13] specifies the use of offset-launch mode-conditioning patch cords when connecting such transmitters to this type of multimode fibre.

The offset-launch is implemented by joining a single-mode fibre to a multimode fibre within the patch cord using a specified range of single-mode-to-multimode radial offset. By launching significantly off-centre from the single-mode fibre into the multimode fibre, many modes are excited that produce a mode power distribution closer to that of an overfilled launch than that of the native launch, which typically strongly excites only low-order modes.

Because overfilled-launch bandwidth measurements are heavily dominated by high-order mode behaviour, they are insensitive to the behaviour of low-order modes. Therefore, by avoiding strong excitation of the low-order modes, the offset-launch patch cord eliminates dependence on the behaviour of these poorly-characterized modes, and improves the correlation between minimum system bandwidth and the overfilled launch bandwidth-length product measurement.

However, because the DMD test procedure does measure low-order mode behaviour, it is capable of bounding the lower limit of bandwidth-distance product for the native launches of these 1 300 nm transmitters. Fibres meeting A1a.2 and A1a.3 specifications are optimised for peak bandwidth at 850 nm, and have specifically limited low-order mode DMD.

Operating at wavelengths different from the peak wavelength introduces a systematic increase in DMD. The largest increase in DMD occurs for the highest order modes. Thus the overfilled bandwidth, which is dominated by high-order mode DMD, is a conservative indicator of lowest effective modal bandwidth for native 1 300 nm launches that concentrate power in the low order modes. Therefore, A1a.2 and A1a.3 fibres are expected to provide *EMB* at least as high as their $500\text{ MHz}\cdot\text{km}$ minimum overfilled bandwidth-length product at 1 300 nm without the use of mode conditioning patch cords.

G.2 Scaling of *EMB* with DMD

Different effective modal bandwidth-length products can be derived from the templates and interval masks defined in Clauses D.1 and D.3 simply by scaling *EMB* in inverse proportion to DMD temporal width, provided the following three conditions are met:

- a) the fibre is used with transmitters meeting the specifications in Clause E.2
- b) the radial offset limits of the templates are not changed, and
- c) the overfilled modal bandwidth-length product requirements are scaled in direct proportion to the *EMB*.

This scaling ability is substantiated by the following relationships. From the waveguide theory, the mode power distribution of the transmitter relates directly to the radial extents of the inner and outer DMD masks. The operating wavelength range constrains operation in close proximity to the nominal DMD measurement wavelength to minimise modal bandwidth changes due to wavelength. With the mode power distribution and the radial extent of the DMD masks fixed, and the operating wavelength range unchanged, scaling is supported by the inverse proportionality between rms pulse width and bandwidth [24]. In this case the rms pulse width equates to the DMD temporal width. Scaling the overfilled bandwidth in direct proportion to the desired *EMB* maintains the established proportionality between the DMD and overfilled bandwidth.

For example, an effective modal bandwidth-length product at 850 nm of $\geq 1\,000\text{ MHz}\cdot\text{km}$ (one-half of $2\,000\text{ MHz}\cdot\text{km}$) can be provided with fibre meeting any of the six DMD templates of Clause D.1, each with double the DMD temporal width in both the inner and outer masks, and an overfilled bandwidth-length product of $\geq 750\text{ MHz}\cdot\text{km}$.

Annex H (informative)

Applications supported by A1 fibres

H.1 Internationally standardised applications

Table H.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 H.1 – Some internationally standardised applications supported by A1a and/or A1b fibres

Application	Source	Name
10BASE-F	ISO/IEC 8802-3 AM 14	FO CSMA/CD
100BASE-FX	IEEE 802.3	Fast Ethernet
1000BASE-SX	IEEE 802.3	Gigabit Ethernet
1000BASE-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 Mb/s	ATM af-phy-0062.000	ATM-155 Multimode OF
ATM LAN 622,08 Mb/s	ATM af-phy-0046.000	ATM-622 Multimode OF
10GBASE-S	IEEE 802.3	10-Gigabit Ethernet
10GBASE-LX4	IEEE 802.3	10-Gigabit Ethernet
10GBASE-LRM	IEEE 802.3	10-Gigabit Ethernet
40GBASE-SR4	IEEE 802.3	40-Gigabit Ethernet
100GBASE-SR10	IEEE 802.3	100-Gigabit Ethernet

H.2 Used commercial bandwidth specifications

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

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

Fibre type	Minimum modal bandwidth for OFLa) condition (unless otherwise indicated) at 850 nm (MHz•km)	Minimum modal bandwidth for OFLa) condition (unless otherwise indicated) at 1 300 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
A1a.3	3 500 4 700 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, E, F and G.			

H.3 Cross-reference of 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 cabled optical fibre performance categories 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 OM3 are identical. The requirements for fibre type A1a.3 contained in this standard and the ISO/IEC 11801 requirements for OM4 are expected to be identical when the ISO/IEC document is updated. The cross reference is given in Table H.3.

**Table H.3 – Cross reference of fibre types and bandwidth cells
for this standard and ISO/IEC 11801**

Attribute	IEC 60793-2-10				ISO/IEC 11801					
	A1b	A1a.1	A1a.2	A1a.3	OM1		OM2		OM3	OM4
IEC type and ISO/IEC designation										
Core diameter (µm)	62,5	50	50	50	50	62,5	50	62,5	50	50
IEC fibre type cross-reference	-	-	-	-	A1a.1	A1b	A1a.1	A1b	A1a.2	A1a.3
Minimum modal bandwidth-length product for overfilled launch at 850 nm (MHz•km)	100-800	200-800	1 500	3 500	200		500		1 500	3 500
Minimum modal bandwidth-length product for overfilled launch at 1 300 nm (MHz•km)	200-1 000	200-1 200	500	500	500		500		500	500
Minimum effective modal bandwidth-length product at 850 nm (MHz•km)	Not specified	Not specified	2 000	4 700	Not specified		Not specified		2 000	4 700

H.4 Reference documents

ATM af-phy-0062.000:1996-07

ATM af-phy-0046.000:1996-01

ISO/IEC 8802-3:2000, *Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications*

ISO/IEC 9314-3:1990, *Information processing systems – Fibre distributed Data Interface (FDDI) – Part 3: Physical Layer Medium Dependent (PMD)*

ISO/IEC 9314-9:2000, *Information technology – Fibre Distributed Data Interface (FDDI) – Part 9: Low-Cost fibre physical layer medium dependent (LCF-PMD).*

ISO/IEC 11518-1:1995, *Information technology – High-performance Parallel Interface – Part 1: Mechanical, electrical and signalling protocol specification (HIPPI-PH)*

ISO/IEC 11801: *Information technology – Generic cabling for customer premises*

ISO/IEC 8802-5: 1998/Amd. 1: 1998, *Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 5: Token ring access method and physical layer specifications Amendment 1: Dedicated token ring operation and fibre optic media*

ISO/IEC 14165-115:2006, *Information technology – Fibre channel – Part 115: Physical interfaces (FC-PI)*

ISO/IEC 14165-116:2005, *Information technology – Fibre channel – Part 116: 10 Gigabit Fibre Channel (10GFC)*

Withdrawing
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-2-10:2011

Annex I (informative)

1-Gbit, 10-Gbit, 40-Gbit and 100-Gbit Ethernet applications

This annex is intended to outline a summary of category A1a and A1b fibre requirements and related transmission capabilities for the 1-Gigabit and 10-Gigabit Ethernet application standards in development within IEEE 802.3 [CSMA/CD et al.] All the Ethernet applications at 1 Gbit/s or higher are considered as “laser launch” applications.

Table I.1 shows a summary of 1, 10, 40 and 100 Gb/s Ethernet requirements and capabilities. The rows of Table I.1 are grouped by fibre type and bit rate. For each line item, there is an indication of the application link length and the requirements on transmitter launch characteristics. The requirements of the transmitter launch characteristics are of three types:

- Offset-launch mode-conditioning patch cord for 1 300 nm operations, defined in IEEE 802.3.
- Coupled power ratio (CPR) > 9 dB and avoidance of radial overfilled launch (ROFL) for 1Gbit/s 850 nm operations on fibres characterised solely by overfilled launch (OFL) bandwidth. CPR is defined in TIA 526-14 [25]. ROFL is defined in IEEE 802.3 [20].
- Encircled Flux (EF) requirements for 10 Gbit/s, 40 Gbit/s and 100 Gbit/s 850 nm operation on fibre types A1a.2 and A1a.3 with effective modal bandwidth ensured by DMD measurement. The EF requirements are: EF at 4,5 µm radius ≤ 30 % and EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %. For EF measurements see IEC 61280-1-4 [15].

Fibre type	Bit rate Gb/s	Nominal wavelength										
		850 nm			1300 nm							
A1b	1	Minimum modal bandwidth for indicated launch condition MHz km	Minimum effective modal bandwidth for transmitters meeting launch requirement MHz km	IEEE 802.3 PMD ^a	Transmitter launch requirement	Link length m	Minimum modal bandwidth for indicated launch condition MHz km	Minimum effective modal bandwidth for transmitters meeting launch requirement MHz km	IEEE 802.3 PMD ^a	Transmitter launch requirement	Link length m	
A1b	1	160 for OFL	n.s.	1000BASE-SX	CPR > 9 dB, avoid ROFL	220		500 for OFL	n.s.	1000BASE-LX	Offset-launch patch cord	550
A1b	1	200 for OFL	n.s.	1000BASE-SX	CPR > 9 dB, avoid ROFL	275		500 for OFL	n.s.	1000BASE-LX	Offset-launch patch cord	550
A1b	10	160 for OFL	n.s.	10GBASE-S	EF at 4,5 µm radius ≤ 30 %, EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %	26		500 for OFL	n.s.	10GBASE-LX4	Offset-launch patch cord	300
A1b	10	200 for OFL	n.s.	10GBASE-S	EF at 4,5 mm radius ≤ 30 %, EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %	33		500 for OFL	n.s.	10GBASE-LX4	Offset-launch patch cord	300
A1b	10	160 for OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		500 for OFL	n.s.	10GBASE-LRM	Offset-launch patch cord or EF at 5 µm radius ≥ 30 %, EF at 11 µm radius ≥ 81 %	220
A1b	10	200 for OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		500 for OFL	n.s.	10GBASE-LRM	Offset-launch patch cord or EF at 5 µm radius ≥ 30 %, EF at 11 µm radius ≥ 81 %	220

^a PMD = Physical Medium Dependent, the IEEE 802.3 nomenclature for a device, such as a transceiver, that connects to the transmission medium.
n.s. = not specified

a PMD = Physical Medium Dependent, the IEEE 802.3 nomenclature for a device, such as a transceiver, that connects to the transmission medium.

n.s. = not specified

Table I.2 – Summary of 1 Gbit/s , 10 Gbit/s , 40 Gbit/s and 100 Gbit/s Ethernet requirements and capabilities for A1a.1 fibres

Fibre type		Bit rate Gb/s	Nominal wavelength									
			850 nm					1300 nm				
			Minimum modal bandwidth for indicated measurement launch condition MHz km	Minimum effective modal bandwidth for transmitters meeting launch requirement MHz km	IEEE 802.3 PMD ^a	Transmitter launch requirement	Link length m	Minimum modal bandwidth for indicated measurement launch condition MHz km	Minimum effective modal bandwidth for transmitters meeting launch requirement MHz km	IEEE 802.3 PMD ^a	Transmitter launch requirement	Link length m
A1a.1	1		400 for OFL	n.s.	1000BASE-SX	CPR > 9 dB, avoid ROFL	500	400 for OFL	n.s.	1000BASE-LX	Offset-launch patch cord	550
A1a.1	1		500 for OFL	n.s.	1000BASE-SX	CPR > 9 dB, avoid ROFL	550	500 for OFL	n.s.	1000BASE-LX	Offset-launch patch cord	550
A1a.1	10		400 for OFL	n.s.	10GBASE-S	EF at 4,5 µm radius ≤ 30 %, EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %	66	400 for OFL	n.s.	10GBASE-LX4	Offset-launch patch cord	240
A1a.1	10		500 for OFL	n.s.	10GBASE-S	EF at 4,5 µm radius ≤ 30 %, EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %	82	500 for OFL	n.s.	10GBASE-LX4	Offset-launch patch cord	300
A1a.1	10		400 for OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	500 for OFL	n.s.	10GBASE-LRM	Offset-launch patch cord or EF at 5 µm radius ≥ 30 %, EF at 11 µm radius ≥ 81 %	100
A1a.1	10		500 for OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	500 for OFL	n.s.	10GBASE-LRM	Offset-launch patch cord or EF at 5 µm radius ≥ 30 %, EF at 11 µm radius ≥ 81 %	220
a PMD = Physical Medium Dependent, the IEEE 802.3 nomenclature for a device, such as a transceiver, that connects to the transmission medium.												
.s. = not specified												

^a PMD = Physical Medium Dependent, the IEEE 802.3 nomenclature for a device, such as a transceiver, that connects to the transmission medium.

n.s. = not specified

Table I.3 – Summary of 1 Gbit/s, 10 Gbit/s, 40 Gbit/s and 100 Gbit/s Ethernet requirements and capabilities for A1a.2 and A1a.3 fibres

Fibre type		Bit rate Gb/s		Nominal wavelength							
				850 nm				1300 nm			
		Minimum modal bandwidth for indicated launch condition MHz km	Minimum effective modal bandwidth for transmitters meeting launch requirement MHz km	IEEE 802.3 PMD ^a	Transmitter launch requirement	Link length m	Minimum modal bandwidth for indicated launch condition MHz km	Minimum effective modal bandwidth for transmitters meeting launch requirement MHz km	IEEE 802.3 PMD ^a	Transmitter launch requirement	Link length m
A1a.2	10	1 500 for OFL	2 000	10GBASE-S	EF at 4,5 µm radius ≤ 30 %, EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %	300	500 for OFL	n.s.	10GBASE-LX4	Offset-launch patch cord	300
A1a.2	10	1 500 for OFL	2 000	n.s.	n.s.	n.s.	500 for OFL	n.s.	10GBASE-LRM	EF at 5 µm radius ≥ 30 %, EF at 11 µm radius ≥ 81 %	220
A1a.2	40	1 500 for OFL	2 000	40GBASE-SR4	EF at 4,5 µm radius ≤ 30 %, EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %	100	500 for OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A1a.2	100	1 500 for OFL	2 000	100GBASE-SR10	EF at 4,5 µm radius ≤ 30 %, EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %	100	500 for OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A1a.3	40	3 500 for OFL	4 700	40GBASE-SR4	EF at 4,5 µm radius ≤ 30 %, EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %	150	500 for OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A1a.3	100	3 500 for OFL	4 700	100GBASE-SR10	EF at 4,5 mm radius ≤ 30 %, EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %	150	500 for OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
a PMD = Physical Medium Dependent, the IEEE 802.3 nomenclature for a device, such as a transceiver, that connects to the transmission medium.											
n.s. = not specified											

Bibliography

References 1 – 4 and 6 can be found on TIA's ftp site at

<http://ftp.tiaonline.org/inactive%20FO-2/Fo22/Public/References%20for%2050%20um%20Development/>

- [1] J. Ritger, J. Abbott, "New Delay Set for TIA Modeling", White paper, June 1, 2001.
- [2] J. Ritger, J. Abbott, "Fiber Delays for 10 Gb Risk Assessment", Presentation to FO2.2.1, June 25, 2001.
- [3] P. Kolesar, "Source Characteristics Development", Presentation to FO2.2.1, June 2001.
- [4] S. Golowich, J. Ritger, P. Kolesar, "Simulation of 50 μ m 10 Gb Links", Presentation to FO2.2.1, June 25, 2001.
- [5] S. Golowich, P. Kolesar, J. Ritger, G. Giaretta, "Modeling, Simulation, and Experimental Study of a 50 μ m Multimode Fiber 10 Gbaud Serial Link", Presentation to IEEE 802.3ae, May, 2000.
URL: http://grouper.ieee.org/groups/802/3/ae/public/may00/golowich_1_0500.pdf
- [6] J. Ritger, "Risk Analysis: EF limits and Wavelength Dependence", Presentation to FO2.2.1, June 25, 2001.
- [7] S. Golowich, P. Kolesar, J. Ritger, P. Pepeljugoski, "Modeling and Simulations for 10 Gb Multimode Optical Fiber Link Component Specifications", OFC 2001, paper WDD57.
- [8] P. Pepeljugoski, S. Golowich, "Measurements and simulations of intersymbol interference penalty in new high speed 50 μ m multimode fiber links operating at 10 Gb/s", OFC 2001, paper WDD40.
- [9] J. Ritger, "Use of Differential Mode Delay in Qualifying Multi-Mode Optical Fiber for 10 Gbps Operation", OFMC 2001 paper.
- [10] M. Hackert, "FO2.2.1 Update", March 2001 IEEE Plenary.
URL: http://grouper.ieee.org/groups/802/3/ae/public/mar01/hackert_1_0301.pdf
- [11] P. Pepeljugoski, M. Hackert, J. Abbott, S. Swanson, S. Golowich, J. Ritger, P. Kolesar, C. Chen and P. Pleunis, "Development of System Specification for Laser Optimized 50 μ m Multimode Fiber for Multi-gigabit Short Wavelength LANs", J. Lightwave Tech. (volume 21, No. 5, pp. 1256 – 1275, May 2003).
- [12] P. Pepeljugoski, S. Golowich, J. Ritger, P. Kolesar, A. Risteski, " Modeling and Simulation of Next-Generation Multimode Fiber Links", (J. Lightwave Tech. Vol. 21, No. 5, pp. 1242 – 1255, May 2003.).
- [13] IEEE P802.3ae 10Gb/s Ethernet Task Force Link Budget Spreadsheet (Version 3.1.16a)
URL <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/ae/public/index.html>
- [14] TIA TSB-172 *High Data Rate Multimode Fiber Transmission Techniques*
- [15] IEC 61280-1-4, Fibre Optic communications subsystem test procedures – Part 1-4: General communication subsystems – Light source encircled flux measurement method

- [16] IEC 61280-1-3, Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 1-3: General communication subsystems – Central wavelength and spectral width measurement
 - [17] C. Caspar, R. Freund, F. Achten, A. Gholami, G. Kuyt, P. Matthijsse and D. Molin “Impact of Transceiver Characteristics on the Performance of 10 GbE Links Applying OM-4 Multimode Fibers”, Proceedings of the 57th IWCS Conference, p295-303, November 2008
 - [18] A. Sengupta, “Simulation of 10GbE Multimode Optical Communications Systems”, Proceedings of the 57th IWCS Conference, p320-326, November 2008
 - [19] G. Oulundsen III, Y. Sun, D. Vaidya, R. Lingle, Jr., T. Irujo, D. Mazzaresse, “Important Performance Characteristics of Enhanced OM3 Fiber for 10 Gb/s Operation”, Proceedings of the 57th IWCS Conference, p327-334, November 2008
 - [20] IEEE 802.3 Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications, Clause 52 for 10GBASE-S
 - [21] ANSI INCITS 364-2003, *Fibre Channel – 10 Gigabit (10GFC)*
 - [22] INCITS/Project 1647-D/Rev8.00 Fibre Channel - Physical Interface-4 (FC-PI-4), for 400-SN (4 gigabit), 800-SN and 800-SA (8 gigabit)
 - [23] IEC TR 62048 - Optical fibres – Reliability – Power law theory
 - [24] R. G. Smith and S. D. Personick, Fundamentals of Optical Fiber Telecommunications, Academic, 1982
 - [25] TIA-526-14-A: 1998, OFSPT-14 Optical Power Loss Measurements of Installed Multimode Fiber Cable Plant.
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	42
1 Domaine d'application	44
2 Références normatives	44
3 Spécifications	46
3.1 Exigences générales	46
3.2 Exigences dimensionnelles	46
3.3 Exigences mécaniques	47
3.4 Exigences de transmission	47
3.5 Exigences environnementales	49
3.5.1 Vue d'ensemble	49
3.5.2 Exigences liées à l'environnement mécanique (communes à toutes les fibres de catégorie A1)	50
3.5.3 Exigences d'environnement pour la transmission	51
Annexe A (normative) Spécifications de famille pour les fibres multimodales de type A1a	52
Annexe B (normative) Spécifications de famille pour les fibres multimodales de type A1b	54
Annexe C (normative) Spécifications de famille pour les fibres multimodales de type A1d	56
Annexe D (normative) Exigences de retard de mode différentiel de la fibre (DMD) et de largeur de bande modale effective calculée (EMBe)	58
Annexe E (informative) Aspects concernant la largeur de bande modale et exigences d'émetteur	63
Annexe F (informative) Explication de la nomenclature de largeur de bande	65
Annexe G (informative) Indications préliminaires pour les éléments qui nécessitent une étude ultérieure	66
Annexe H (informative) Applications supportées par les fibres de catégorie A1	68
Annexe I (informative) Applications Ethernet 1 Gbit/s, 10 Gbit/s, 40 Gbit/s et 100 Gbit/s	72
Bibliographie	78
Figure 1 – Relation entre les largeurs de bande à 850 nm et à 1 300 nm	49
Figure D.1 – Exigences de modèles de DMD	59
Tableau 1 – Attributs dimensionnels et méthodes de mesure	46
Tableau 2 – Exigences dimensionnelles communes aux fibres de catégorie A1	46
Tableau 3 – Attributs de dimensions additionnels exigés dans les spécifications de famille	47
Tableau 4 – Attributs mécaniques et méthodes de mesure	47
Tableau 5 – Exigences mécaniques communes aux fibres de catégorie A1	47
Tableau 6 – Attributs de transmission et méthodes de mesure	48
Tableau 7 – Attributs de transmission additionnels exigés dans les spécifications de famille	48
Tableau 8 – Essais d'exposition à l'environnement	49
Tableau 9 – Attributs mesurés pour les essais d'environnement	50
Tableau 10 – Force de dénudage pour les essais d'environnement	50

Tableau 11 – Résistance à la traction pour les essais d'environnement	50
Tableau 12 – Résistance à la corrosion sous contrainte pour les essais d'environnement	51
Tableau 13 – Variation de l'affaiblissement pour les essais d'environnement	51
Tableau A.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres de type A1a	52
Tableau A.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres de type A1a	52
Tableau A.3 – Exigences de transmission spécifiques aux fibres de type A1a	53
Tableau B.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres de type A1b	54
Tableau B.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres de type A1b	54
Tableau B.3 – Exigences de transmission spécifiques aux fibres de type A1b	55
Tableau C.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres de type A1d	56
Tableau C.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres de type A1d	56
Tableau C.3 – Exigences de transmission spécifiques aux fibres de type A1d	57
Tableau D.1 – Modèles de DMD pour les fibres A1a.2	58
Tableau D.2 – Masques d'intervalles de DMD pour les fibres A1a.2	60
Tableau D.3 – Pondérations de DMD	61
Tableau D.4 – Modèles de DMD pour les fibres A1a.3	62
Tableau D.5 – Masques d'intervalles de DMD pour les fibres A1a.3	62
Tableau F.1 – Explication de nomenclature de largeur de bande	65
Tableau H.1 – Quelques applications normalisées au niveau international supportées par les fibres de type A1a et/ou A1b (non exhaustif)	68
Tableau H.2 – Spécifications de largeurs de bande à usage commercial typiquement utilisées pour les fibres multimodales à gradient d'indice de type A1a et A1b	69
Tableau H.3 – Correspondance des types de fibres et de cellule de largeur de bande de la présente norme et de l'ISO/IEC 11801	70
Tableau I.1 – Aperçu des exigences et des capacités de l'Ethernet 1 Gbit/s, 10 Gbit/s, 40 Gbit/s et 100 Gbit/s pour les fibres A1b	73
Tableau I.2 – Aperçu des exigences et des capacités de l'Ethernet 1 Gbit/s, 10 Gbit/s, 40 Gbit/s et 100 Gbit/s pour les fibres A1a.1	75
Tableau I.3 – Aperçu des exigences et des capacités de l'Ethernet 1 Gbit/s, 10 Gbit/s, 40 Gbit/s et 100 Gbit/s pour les fibres A1a.2 et A1a.3	77

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 elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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 brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets 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 quatrième édition annule et remplace la troisième édition publiée en 2007. La présente édition constitue une révision technique.

Les modifications principales par rapport à l'édition précédente sont énumérées ci-dessous:

- ajout des fibres de type A1a.3;
- réduction de la tolérance sur le diamètre du cœur de 3,0 à 2,5 μm pour les fibres A1a.

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

CDV	Rapport de vote
86A/1295/CDV	86A/1328/RVC

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60793, publiées sous le titre général *Fibres optiques*, est disponible sur le site internet de la CEI.

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

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

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 s'applique aux fibres de 50/125 μm , tandis que les types A1a.2 et A1a.3 s'appliquent aux fibres de 50/125 μm optimisées pour injection laser à 850 nm à deux classes de largeur de bande. 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, mais sans s'y limiter, ce qui suit: 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; et les connexions par fibres intra ou inter bâtiment des locaux utilisateurs englobant les LAN des centres de traitement de données, les réseaux dédiés sauvegarde, les PABX, la vidéo, les différentes utilisations de multiplexage, l'utilisation d'une installation de câble 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 dans les annexes normatives.

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, *Optical fibres – Part 1-1: Measurement methods and test procedures – General and guidance* (en anglais seulement)

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

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

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

CEI 60793-1-30, *Optical fibres – Part 1-30: Measurement methods and test procedures – Fibre proof test* (en anglais seulement)

CEI 60793-1-31, *Optical fibres – Part 1-31: Measurement methods and test procedures – Tensile strength* (en anglais seulement)

CEI 60793-1-32, *Optical fibres – Part 1-32: Measurement methods and test procedures – Coating strippability* (en anglais seulement)

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

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

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

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

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

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

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

CEI 60793-1-47, *Optical fibres – Part 1-47: Measurement methods and test procedures – Macrobending loss* (en anglais seulement)

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

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

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

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

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

CEI 60793-2:2007, *Fibres optiques – Partie 2: Spécifications de produits – Généralités*

CEI 60794-1-1, *Câbles à fibres optiques – Partie 1-1: Spécification générique – Généralités*

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

ISO/IEC 11801:2002, *Information technology – Generic cabling for customer premises* (en anglais seulement)

3 Spécifications

3.1 Exigences générales

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 constitués d'oxydes non métalliques.

3.2 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 dimensionnelles communes aux fibres de catégorie A1

Attributs	Unité	Limites
Non-circularité du cœur	%	≤6
Diamètre du revêtement primaire – incolore ^a	μm	245 ± 10
Diamètre du revêtement primaire – coloré ^a	μm	250 ± 15
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	μm	≤12,5
Longueur de fibre	km	^b
^a 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 de revêtement primaire; plusieurs d'entre eux sont donnés ci-dessous. Autres diamètres nominaux et tolérances de revêtement primaire (μm): 400 ± 40 500 ± 50 700 ± 100 900 ± 100		
^b Les exigences de longueurs varient et il convient qu'elles fassent l'objet d'un accord entre le fournisseur et le client.		

Tableau 3 – Attributs de dimensions 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

3.3 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
Essai 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 mécaniques communes aux fibres de catégorie A1

Attributs	Unité	Limites
Niveau de contrainte d'essai	GPa	$\geq 0,69^a$
Force de dénudage (moyenne) ^b	N	$1,0 \leq F_{\text{ave.strip}} \leq 5,0$
Force de dénudage (crête) ^b	N	$1,0 \leq F_{\text{peak.strip}} \leq 8,9$
Résistance à la traction (moyenne) pour un spécimen d'une longueur de 0,5 m	GPa	$\geq 3,8$
Constante de résistance à la corrosion sous contrainte	n_d	≥ 18
^a La contrainte d'essai 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 7.4 de la CEI/TR 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.		

3.4 Exigences de transmission

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

Le Tableau 7 énumère les attributs additionnels qui doivent être spécifiés par chaque spécification de famille.

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 ^b	CEI 60793-1-42
Variations du facteur de transmission optique	CEI 60793-1-46
Pertes dues aux macro-courbures	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. ^b La conformité à la spécification relative à la dispersion chromatique peut être assurée par la conformité à la spécification relative à l'ouverture numérique.	

Tableau 7 – Attributs de transmission additionnels exigés dans les spécifications de famille

Attributs
Affaiblissement linéique
Largeur de bande modale
Dispersion chromatique
Ouverture numérique
Pertes dues aux macro-courbures

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

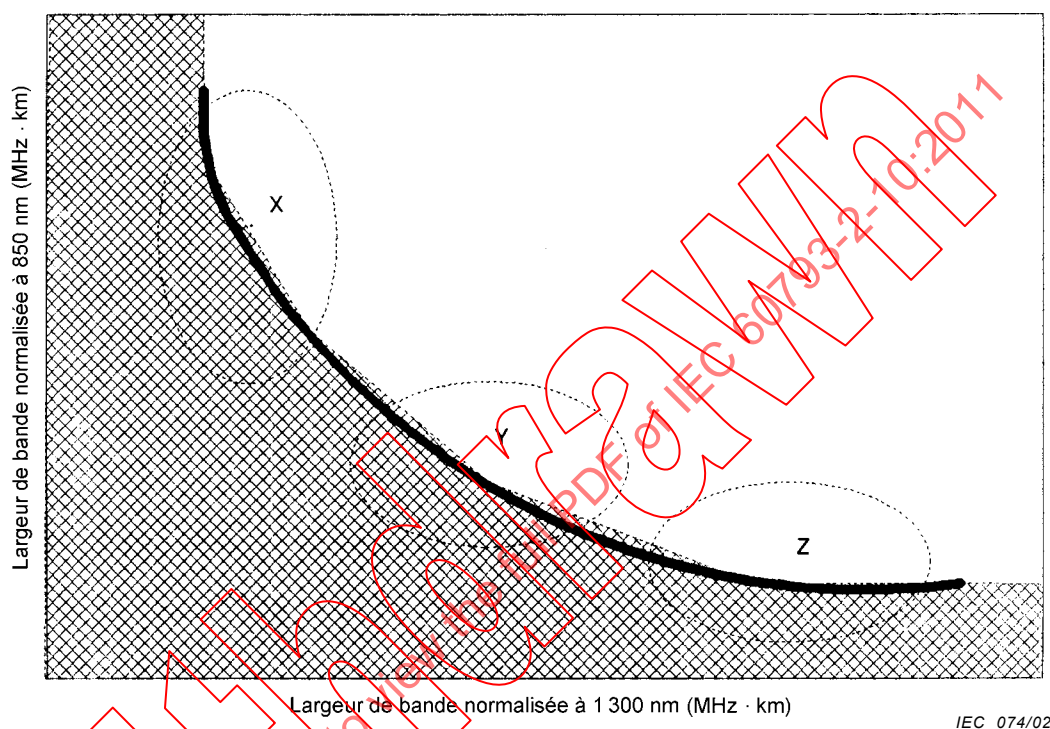
Les valeurs d'affaiblissement maximal indiquées s'appliquent aux fibres optiques non câblées; pour les valeurs d'affaiblissement maximal des fibres câblées, on fait référence à la CEI 60794-1-1, utilisable conjointement avec la présente norme.

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 1, en fonction du paramètre d'indice de réfraction, g , (voir 5.1 de la CEI 60793-2). La région ombrée sous la courbe de la Figure 1 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 aura des combinaisons de largeurs de bandes impossibles. Par exemple, il est pratiquement impossible de produire une fibre avec le maximum des deux plages de largeurs de bandes indiquées (par exemple 800 MHz·km / 1 000 MHz·km pour les fibres multimodales de type A1b).



IEC 074/02

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

3.5 Exigences environnementales

3.5.1 Vue d'ensemble

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

- Les attributs d'environnement et les procédures d'essai applicables figurent dans le Tableau 8.
- Les mesures d'un attribut mécanique ou de transmission spécifique qui peuvent varier avec l'application de l'environnement sont données au Tableau 9.

Tableau 8 – Essais d'exposition à l'environnement

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

Tableau 9 – Attributs mesurés pour les essais d'environnement

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

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.

3.5.2 Exigences liées à l'environnement mécanique (communes à toutes les fibres de catégorie A1)

3.5.2.1 Vue d'ensemble

Ces essais correspondent, en pratique, aux exigences les plus sévères applicables aux essais d'exposition à l'environnement indiqués au Tableau 8.

Les Tableaux 10, 11 et 12 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.

3.5.2.2 Force de dénudage

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

Tableau 10 – Force de dénudage pour les essais d'environnement

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

3.5.2.3 Résistance à la traction

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

Tableau 11 – Résistance à la traction pour les essais d'environnement

Environnement	Résistance moyenne à la traction Longueur d'échantillon: 0,5 m GPa	Résistance à 15 % à la traction Longueur d'échantillon: 0,5 m GPa
Chaleur humide	$\geq 3,03$	$\geq 2,76$
NOTE Ces exigences ne s'appliquent pas aux fibres sous revêtement hermétique.		

3.5.2.4 Résistance à la corrosion sous contrainte

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

**Tableau 12 – Résistance à la corrosion sous contrainte
pour les essais d'environnement**

Environnement	Constante de résistance à la corrosion sous contrainte, <i>nd</i>
Chaleur humide	≥ 18
NOTE Cette exigence ne s'applique pas aux fibres sous revêtement hermétique.	

3.5.3 Exigences d'environnement pour la transmission

La variation d'affaiblissement par rapport à la valeur initiale doit être inférieure aux valeurs du Tableau 13. 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 13 – 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

Annexe A (normative)

Spécifications de famille pour les fibres multimodales de type A1a

A.1 Généralités

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 . Trois 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 les types A1a.2 et A1a.3 s'appliquent aux fibres de 50/125 μm optimisées pour injection laser à 850 nm à deux classes de largeur de bande. Les exigences dimensionnelles, mécaniques et d'environnement sont communes à tous les types. Les différences dans les exigences de transmission sont spécifiées dans le Tableau A.3.

A.2 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	Limite	Référence
Diamètre de la gaine	μm	125 ± 2	
Non-circularité de la gaine	%	≤ 2	
Diamètre du cœur	μm	$50 \pm 2,5$	
Erreur de concentricité entre le cœur et la gaine	μm	≤ 3	
Non-circularité du cœur	%	≤ 6	3.2
Diamètre du revêtement primaire – incolore	μm	245 ± 10	3.2
Diamètre du revêtement primaire – coloré	μm	250 ± 15	3.2
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	μm	$\leq 12,5$	3.2
Longueur de la fibre	km	[voir 3.2]	3.2

A.3 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

Attributs	Unité	Limite	Référence
Niveau de contrainte d'essai	GPa	$\geq 0,69$ SS	3.3
Force de dénudage (moyenne) ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{ave.strip}} \leq 5,0$	3.3
Force de dénudage (crête) ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{peak.strip}} \leq 8,9$	3.3

A.4 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	Limite			Référence
Sous-type de fibre		A1a.1	A1a.2	A1a.3	
Affaiblissement linéique maximal à 850 nm	dB/km	2,4 – 3,5 a	2,5		
Affaiblissement linéique maximal à 1300 nm	dB/km	0,7 – 1,5 a	0,8		
Produit longueur-largeur de bande modale minimale pour injection saturée à 850 nm	MHz•km	200 – 800 a	1 500	3 500	
Produit longueur-largeur de bande modale minimale pour injection saturée à 1 300 nm	MHz•km	200 – 1 200 a	500		
Retard de mode différentiel à 850 nm	ps/m	Non spécifié	Conforme à l'Article D.1 ou à l'Article D.2	Conforme à l'Article D.3 ou à l'Article D.4	Annexes D, E, F, G
Ouverture numérique	Sans unité	0,20 ± 0,015			
Pertes maximales dues aux macro-courbures 100 tours de mandrin de 75 mm de diamètre à des longueurs d'ondes de 850 nm et 1 300 nm ^b	dB	0,5			
Longueur d'onde de dispersion nulle, λ_0	nm	$1\,295 \leq \lambda_0 \leq 1\,340^c$			
Pente de dispersion nulle, S_0 - de $1\,295 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,310 \text{ nm}$ - de $1\,310 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,340 \text{ nm}$	ps/nm ² •km	$\leq 0,105^c$ $\leq 0,000375 (1590 - \lambda_0)^c$			
a Ces valeurs représentent une gamme de valeurs qui peuvent être spécifiées.					
b En fonction du comportement, indépendant de la longueur d'onde, des pertes dues aux macro-courbures 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 à cette spécification.					
c Le cas le plus défavorable de coefficient de dispersion chromatique à 850 nm (par exemple $S_n = 0,09375$ ps/nm ² •km à $\lambda_0 = 1\,340$ nm ou $S_0 = 0,10125$ ps/nm ² •km à $\lambda_0 = 1\,320$ nm) est de -104 ps/nm•km.					

A.5 Exigences environnementales

Les exigences de 3.5 doivent être satisfaites.

Annexe B (normative)

Spécifications de famille pour les fibres multimodales de type A1b

B.1 Généralités

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.2 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	3.2
Diamètre du revêtement primaire – incolore	µm	245 ± 10	3.2
Diamètre du revêtement primaire – coloré	µm	250 ± 15	3.2
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	µm	≤12,5	3.2
Longueur de la fibre	Km	[voir 3.2]	3.2

B.3 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	3.3
Force de dénudage (moyenne) ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{ave.strip}} \leq 5,0$	3.3
Force de dénudage (crête) ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{peak.strip}} \leq 8,9$	3.3

B.4 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 1 300 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 1 300 nm ^a	MHz·km	200 – 1 000	
Ouverture numérique	Sans unité	$0,275 \pm 0,015$	
Pertes maximales dues aux macro-courbures 100 tours de mandrin de 75 mm de diamètre à des longueurs d'ondes de 850 nm et 1 300 nm ^b	dB	0,5	
Longueur d'onde de dispersion nulle, λ_0	nm	$1\,320 \leq \lambda_0 \leq 1\,365$ ^c	
Pente de dispersion nulle, S_0 – de $1\,320 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,348 \text{ nm}$ – de $1\,348 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,365 \text{ nm}$	ps/nm ² ·km	$\leq 0,11$ ^c $\leq 0,001 (1\,458 - \lambda_0)$ ^c	
^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 macro-courbures 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 à cette spécification. ^c Le cas le plus défavorable de coefficient de dispersion chromatique à 850 nm ($S_n = 0,11 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ à $\lambda_n = 1\,348 \text{ nm}$) est de $-125 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$.			

B.5 Exigences environnementales

Les exigences de 3.5 doivent être satisfaites.

Annexe C (normative)

Spécifications de famille pour les fibres multimodales de type A1d

C.1 Généralités

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.2 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	3.2
Diamètre du revêtement primaire – incolore	μm	245 ± 10	3.2
Diamètre du revêtement primaire – coloré	μm	250 ± 15	3.2
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	μm	$\leq 12,5$	3.2
Longueur de la fibre	km	[voir 3.2]	3.2

C.3 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	$\geq 0,69$ SS	3.3
Force de dénudage (moyenne) ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{ave.strip}} \leq 5,0$	3.3
Force de dénudage (crête) ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{peak.strip}} \leq 8,9$	3.3

C.4 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 ± 0,03 ou 0,29 ± 0,03	
Pertes maximales dues aux macro-courbures	dB	Sera étudié ultérieurement	
Longueur d'onde de dispersion nulle, λ_0	nm	$1\,330 \leq \lambda_0 \leq 1\,385$ ^b	
Pente de dispersion nulle, S_0 – de $1\,330 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,365 \text{ nm}$ – de $1\,365 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,385 \text{ nm}$	ps/nm ² ·km	$\leq 0,105$ ^b $\leq 0,0005 (1\,575 - \lambda_0)$ ^b	
^a La colonne «limites» forme une gamme de valeurs qui peuvent être spécifiées.			
^b Le cas le plus défavorable de coefficient de dispersion chromatique à 850 nm ($S_n = 0,105 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ à $\lambda_n = 1\,365 \text{ nm}$) est de -126 ps/nm·km.			

C.5 Exigences environnementales

Les exigences de 3.4 doivent être satisfaites.

Annexe D (normative)

Exigences de retard de mode différentiel de la fibre (DMD) et de largeur de bande modale effective calculée (*EMBc*)

D.1 Exigences DMD pour les fibres A1a.2

D.1.1 Généralités

Les fibres A1a.2 choisies en utilisant la méthode du masque de DMD doivent satisfaire aux exigences de D.1.1 et D.1.2. Les limites radiales, R_{INNER} et R_{OUTER} , ont été établies pour les émetteurs conformes aux exigences de l'Article E.2.

Voir l'Annexe E pour avoir des informations concernant la largeur modale de bande effective (*EMB*).

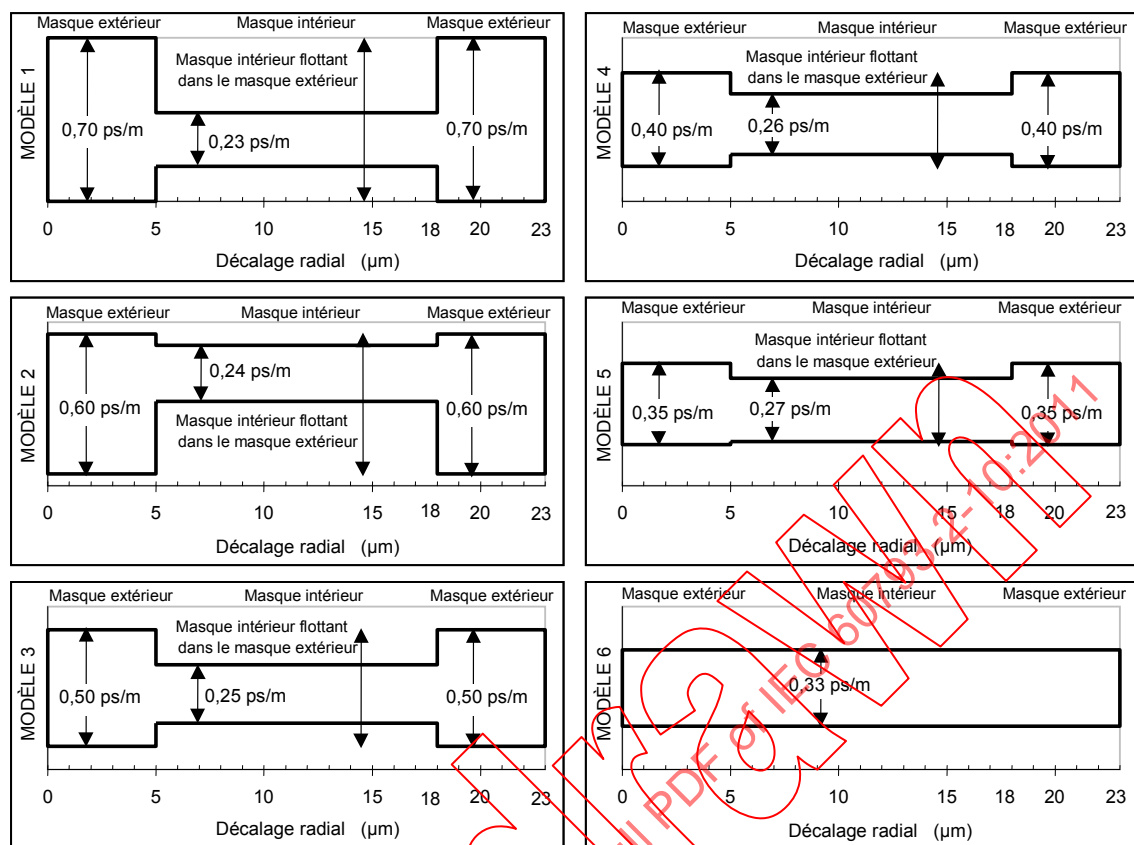
D.1.2 Modèles de DMD

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

Tableau D.1 – Modèles de DMD pour les fibres A1a.2

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	$\leq 0,23$	$\leq 0,70$
2	$\leq 0,24$	$\leq 0,60$
3	$\leq 0,25$	$\leq 0,50$
4	$\leq 0,26$	$\leq 0,40$
5	$\leq 0,27$	$\leq 0,35$
6	$\leq 0,33$	$\leq 0,33$

Les exigences de DMD de D.1.2 sont illustrées à la Figure D.1. Dans cette figure, le DMD disponible (tel qu'il est mesuré selon la CEI 60793-1-49) est tracé par rapport à la position de décalage radial de la sonde unimodale. 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).



IEC 532/11

Figure D.1 – Exigences de modèles de DMD

La caractéristique "flottante" du masque intérieur est également illustrée à la Figure D.1. Dans cette figure, le masque intérieur (5 μm à 18 μm) peut être positionné verticalement (temporairement) à un emplacement quelconque à l'intérieur du masque extérieur (0 μm à 23 μm). 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 ps/m , l'exigence est la même sur toute la plage de 0 μm à 23 μm , en créant un masque "plat".

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 $\text{MHz}\cdot\text{km}$ (voir Bibliographie).

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

D.1.3 Masques d'intervalle de DMD

Le DMD de la fibre A1a.2 ne doit pas dépasser 0,25 ps/m pour n'importe quel intervalle de décalage radial donné dans le Tableau D.2.

Tableau D.2 – Masques d'intervalles de DMD pour les fibres A1a.2

Numéro d'intervalle	R_{INNER} μm	R_{OUTER} 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 inter-symbole plus faible que celles qui ne le traversent pas.

D.2 Exigences EMB_C pour les fibres A1a.2

D.2.1 Généralités

Les fibres de type A1a.2 choisies en utilisant la méthode de l' EMB_C doivent satisfaire aux exigences de D.2.2.

D.2.2 Largeur de bande effective calculée

Les formes d'impulsion optique de DMD peuvent être pondérées par un ensemble de distributions d'injection pour déterminer un ensemble correspondant de valeurs EMB_C . La valeur minimale d' EMB_C dans cet ensemble doit satisfaire à l'exigence de l'Equation (D.1).

$$\text{Minimum } EMB_C \geq 1770 \text{ MHz} \cdot \text{km} \quad (\text{D.1})$$

où

la valeur minimale EMB_C est déterminée à partir de la fonction de transfert complexe comme cela est décrit dans la CEI 60793-1-49 en utilisant les pondérations définies au Tableau D.3 ci-dessous.

NOTE 1 La valeur minimale EMB_C est un paramètre de fibre qui peut ne pas être optimal pour être utilisé dans les modèles de système. Voir l'Annexe E pour avoir des informations concernant le paramètre système correspondant appelé largeur modale de bande effective (EMB).

NOTE 2 La conformité avec cette exigence de valeur minimale de EMB_C garantit une valeur d' $EMB \geq 2\,000 \text{ MHz} \cdot \text{km}$.

NOTE 3 Voir l'Annexe F pour des explications supplémentaires de la nomenclature de largeur de bande.

Les pondérations données dans le Tableau D.3 sont fournies pour un DMD mesuré à des intervalles radiaux de 1 μm en commençant par le centre du cœur ($r = 0$) pour dix lasers simulés avec des valeurs de flux inscrit (EF) correspondant à ceux de dix lasers réels. Les pondérations de DMD du Tableau D.3 sont spécifiques aux sources satisfaisant aux spécifications de l'Article E.2.

Tableau D.3 – Pondérations de DMD

Position radiale	Laser ID									
r μm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,033023	0,023504	0	0	0	0,015199	0,016253	0,022057	0,01043	0,015681
2	0,262463	0,188044	0	0	0	0,12091	0,129011	0,17639	0,083496	0,124978
3	0,884923	0,634634	0	0	0	0,407702	0,434844	0,595248	0,281802	0,421548
4	2,009102	1,447235	0,007414	0,005637	0,003034	0,925664	0,987184	1,351845	0,65028	0,957203
5	3,231216	2,376616	0,072928	0,055488	0,029856	1,488762	1,5876	2,174399	1,130599	1,539535
6	3,961956	3,052908	0,262906	0,20005	0,107634	1,825448	1,946614	2,666278	1,627046	1,887747
7	3,694686	3,150634	0,637117	0,483667	0,258329	1,702306	1,815285	2,486564	2,044326	1,762955
8	2,644369	2,732324	1,197628	0,89695	0,458494	1,218378	1,299241	1,780897	2,29172	1,292184
9	1,397552	2,060241	1,916841	1,402833	0,661247	0,643911	0,686635	0,945412	2,280813	0,790844
10	0,511827	1,388339	2,755231	1,957805	0,826035	0,238557	0,25585	0,360494	1,937545	0,55938
11	0,110549	0,834722	3,514797	2,433247	1,000204	0,098956	0,131429	0,163923	1,383006	0,673655
12	0,004097	0,419715	3,883317	2,639299	1,294439	0,204274	0,327091	0,318712	0,878798	1,047689
13	0,000048	0,160282	3,561955	2,397238	1,813982	0,529982	0,848323	0,778983	0,679756	1,589037
14	0,001111	0,047143	2,617093	1,816953	2,50695	1,024948	1,567513	1,383174	0,81236	2,138626
15	0,005094	0,044691	1,480325	1,296977	3,164213	1,611695	2,224027	1,853992	1,074702	2,470827
16	0,013918	0,116152	0,593724	1,240553	3,572113	2,210689	2,55506	1,914123	1,257323	2,361764
17	0,02632	0,219802	0,153006	1,70002	3,618937	2,707415	2,464566	1,511827	1,255967	1,798213
18	0,036799	0,307088	0,012051	2,240664	3,329662	2,9388	2,087879	0,90833	1,112456	1,059264
19	0,039465	0,329314	0	2,394077	2,745395	2,73932	1,577111	0,386991	0,879309	0,444481
20	0,032152	0,268541	0	1,952429	1,953241	2,090874	1,056343	0,11176	0,608183	0,123304
21	0,019992	0,16697	0	1,213833	1,137762	1,261564	0,595102	0,014829	0,348921	0,012552
22	0,008832	0,073514	0	0,534474	0,494404	0,55214	0,256718	0,001818	0,15112	0
23	0,002612	0,021793	0	0,158314	0,146517	0,163627	0,076096	0,00054	0,044757	0
24	0,000282	0,002679	0	0,019738	0,018328	0,020443	0,009446	0	0,005639	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

D.3 Exigences DMD des fibres A1a.3

D.3.1 Généralités

Les fibres A1a.3 choisies en utilisant la méthode du masque de DMD doivent satisfaire aux exigences de D.3.2 et D.3.3. Voir l'Article D.1 pour les informations liées. Les limites radiales, R_{INNER} et R_{OUTER} , ont été établies pour les émetteurs conformes aux exigences de l'Article E.2.

Voir l'Annexe E pour avoir des informations concernant la largeur modale de bande effective (EMB).

D.3.2 Modèles de DMD

Les fibres de type A1a.3, lorsqu'elles sont mesurées selon la CEI 60793-1-49, doivent satisfaire au moins à l'un des trois modèles du Tableau D.4, chacun incluant une exigence de masque intérieur et extérieur.

Tableau D.4 – Modèles de DMD pour les fibres A1a.3

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	$\leq 0,10$	$\leq 0,30$
2	$\leq 0,11$	$\leq 0,17$
3	$\leq 0,14$	$\leq 0,14$

D.3.3 Masques d'intervalle de DMD

Le DMD de la fibre A1a.3 ne doit pas dépasser 0,11 ps/m pour n'importe quel intervalle de décalage radial donné dans le Tableau D.5 lorsque la mesure est réalisée selon la CEI 60793-1-49.

Tableau D.5 – Masques d'intervalles de DMD pour les fibres A1a.3

Numéro d'intervalle	R_{INNER} μm	R_{OUTER} μm
1	7	13
2	9	15
3	11	17
4	13	19

D.4 Exigences EMB_c pour les fibres A1a.3

D.4.1 Généralités

Les fibres A1a.3 choisies en utilisant la méthode EMB_c doivent satisfaire aux exigences de D.4.2. Voir l'Article D.2 pour les informations liées.

D.4.2 Largeur de bande effective calculée

Les formes d'impulsion optique de DMD peuvent être pondérées par un ensemble de distributions d'injection pour déterminer un ensemble correspondant de valeurs EMB_c . La valeur minimale d' EMB_c dans cet ensemble doit satisfaire à l'exigence de l'Equation (D.2).

$$\text{Minimum } EMB_c \geq 4 \, 160 \text{ MHz} \bullet \text{km} \quad (\text{D.2})$$

où

la valeur minimale EMB_c est déterminée à partir de la fonction de transfert complexe comme cela est décrit dans la CEI 60793-1-49 en utilisant les pondérations définies au Tableau D.3.

Annexe E (informative)

Aspects concernant la largeur de bande modale et exigences d'émetteur

E.1 Contexte

Lorsqu'une fibre multimodale est utilisée avec des émetteurs lasers, la largeur de bande de la combinaison peut varier fortement 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. Plus précisément, la largeur de bande modale effective est la largeur de bande à -3 dB de la réponse impulsionnelle produite à partir des retards de mode d'une fibre particulière pondérée par la distribution de puissance modale du laser injecté dans la fibre.

La connaissance de la structure modale d'une fibre, telle qu'elle est déterminée par la CEI 60793-1-49 permet de placer une limite plus faible sur la gamme des largeurs de bandes qui sera rencontrée lors de l'utilisation d'une fibre donnée avec plusieurs émetteurs lasers.

En utilisant des lasers qui assurent un couplage essentiellement dans les modes dont les retards sont bien délimités, la largeur de bande modale minimale peut être assurée. La CEI 61280-1-4 peut être utilisée pour mesurer la condition d'injection des émetteurs lasers dans la fibre multimodale [15]¹. Des spécifications de condition d'injection choisies de manière adéquate peuvent restreindre les modes de la fibre utilisés par les émetteurs principalement à ceux dont les retards différentiels de propagation sont limités de manière appropriée.

Un produit longueur-largeur de bande modale minimal peut être assuré en combinant un émetteur satisfaisant aux spécifications de l'Article E.2 ci-dessous avec une fibre de 50 µm satisfaisant aux spécifications de l'Annexe D.

E.2 Exigences de longueur d'onde centrale et de flux inscrit (EF) pour l'émetteur

E.2.1 Flux inscrit

Les limites radiales de DMD des masques internes, externes et d'intervalles spécifiés en D.1 et D.3, et les pondérations de DMD spécifiées en D.2 et D.4, ont été établies en relation avec la plage limitée particulière des conditions d'injection laser spécifiées dans les Equations (E.1) et (E.2). La largeur de bande modale minimale pour les conditions d'injection à l'extérieur de cette plage n'a pas été déterminée, mais elle sera inférieure à celle pour les conditions d'injection dans cette plage.

Il convient que la distribution de la puissance de condition d'injection de l'émetteur satisfasse aux exigences des Equations (E.1) et (E.2) lorsque les mesures sont réalisées selon la CEI 61280-1-4 [15] avec l'émetteur couplé à une fibre de 50 µm satisfaisant aux spécifications du présent document.

$$\text{EF avec un rayon de } 4,5 \mu\text{m} \leq 30\% \quad (\text{E.1})$$

$$\text{EF avec un rayon de } 19 \mu\text{m} \geq 86\% \quad (\text{E.2})$$

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

E.2.2 Longueur d'onde centrale

Dans la mesure où les retards de mode de la fibre varient avec la longueur d'onde, il convient que la longueur d'onde centrale de l'émetteur soit maintenue à une valeur proche de la longueur d'onde de mesure de DMD nominale de 850 nm pour obtenir la performance de largeur de bande modale la plus élevée sur la population des fibres concernées. Il peut être approprié d'ajuster la largeur de bande modale lorsque l'émetteur ne fonctionne pas à 850 nm [6]. Voir le TIA TSB-172 pour avoir une illustration de l'affaiblissement de largeur de bande pour les fibres de largeur de bande similaire au type de fibre A1a.3 [14].

Il convient que la longueur d'onde centrale de l'émetteur laser (λ_c) satisfasse aux exigences de l'Equation (E.3) lorsque les essais sont réalisés selon la CEI 61280-1-3 [16].

$$840 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 860 \text{ nm} \quad (\text{E.3})$$

Plusieurs normes d'application publiées ou à un stade projet avancé satisfont aux exigences de l'Article E.2 [20 – 22] .

E.3 EMB

Au cours du développement du type de fibre A1a.2, une simulation détaillée de Monte-Carlo dans le domaine temporel a été utilisée pour évaluer la capacité de sélection des performances de différents projets de masque de DMD et de pondération DMD pour les émetteurs satisfaisant aux spécifications de l'Article E.2 [1 – 12]. Les propositions ont été jugées sur leur capacité à accepter des fibres ne faisant pas dépasser une valeur spécifique à l'interférence inter-symbole (ISI) excédent une valeur spécifique, le plus souvent de 0,5 % de la vitesse [11]. La valeur ISI spécifique a été établie avec la feuille de calcul de budget de liaison IEEE 802.3ae [13] pour un canal qui prenait en compte les effets du temps de montée de l'émetteur, de la largeur de bande du récepteur et une fibre avec une largeur de bande modale de 2 000 MHz·km. Ainsi, par l'utilisation d'une simulation de Monte-Carlo, les fibres satisfaisant aux exigences du type A1a.2 donnent une EMB minimale de 2 000 MHz·km.

La valeur minimale de l'EMB est alignée sur les hypothèses de la feuille de calcul du budget de liaison de l'IEEE 802.3ae. Il est particulièrement important de noter que, dans la feuille de calcul, la dégradation de l'ISI est modélisée selon les hypothèses de forme d'onde gaussiennes pour les valeurs de sortie de l'émetteur et de la fibre. D'après les résultats de la simulation de Monte-Carlo pour les fibres satisfaisant aux exigences, la relation de calcul entre l'ISI et la largeur de bande modale minimale de la fibre est pessimiste. Par conséquent, le calcul de l'EMB à partir du DMD pondéré a intégré un facteur de 1,13 pour aligner les exigences de fibre développées avec la simulation de Monte-Carlo dans le domaine temporel sur le modèle de la feuille de calcul comme indiqué dans l'Equation (E.4).

$$EMB = 1,13 \times \text{minimum } EMB_c \quad (\text{E.4})$$

Si d'autres modèles sont utilisés, alors une EMB différente peut être appropriée.

Les fibres qui satisfont aux exigences des Articles D.3 et D.4 dans la présente spécification (à savoir les fibres A1a.3) offrent une largeur de bande modale minimale à 850 nm qui est 2,35 fois plus élevée que la largeur de bande modale minimale de celles qui satisfont aux exigences des Articles D.1 et D.2 (à savoir les fibres A1a.2). Ainsi, leur EMB minimale est aussi 2,35 fois supérieure avec les mêmes hypothèses de feuille de calcul de budget de liaison comme indiqué par l'Equation (E.5).

$$EMB \geq 2,35 \times 2\,000 \text{ MHz} \cdot \text{km} \geq 4\,700 \text{ MHz} \cdot \text{km} \quad (\text{E.5})$$

Les études de performances des systèmes avec les fibres et sources lasers réelles confirment cette relation [17 - 19].

Annexe F (informative)

Explication de la nomenclature de largeur de bande

Le Tableau F.1 fournit des explications sur les paramètres de largeur de bande qui possèdent des noms et des abréviations similaires.

Tableau F.1 – Explication de nomenclature de largeur de bande

Nom de paramètre et abréviation	Description des paramètres
Largeur de bande modale effective calculée (EMB_C)	La largeur de bande modale calculée résultant d'une pondération particulière d'un DMD particulier
Largeur de bande modale effective calculée minimale (EMB_C minimale)	La largeur de bande modale calculée minimale résultant d'un ensemble particulier de pondérations d'un DMD particulier
Largeur de bande modale effective (EMB_C)	La largeur de bande modale qui résulte de la multiplication de la largeur de bande modale effective calculée minimale par 1,13 pour arriver à une valeur alignée avec les hypothèses du modèle de liaison IEEE 802.3ae pour les émetteurs conformes à l'Article E.2