

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 © 2015 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 l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
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.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 60 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) 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 IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 60 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

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

ICS 33.180.10

ISBN 978-2-8322-3006-0

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor. Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.
--

CONTENTS

FOREWORD	5
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Terms, definitions and abbreviations	9
3.1 Terms and definitions	9
3.2 Abbreviations	9
4 Specifications	9
4.1 Dimensional requirements	9
4.2 Mechanical requirements	10
4.3 Transmission requirements	11
4.4 Environmental requirements	13
4.4.1 General	13
4.4.2 Mechanical environmental requirements (common to all fibres in category A1)	14
4.4.3 Transmission environmental requirements	15
Annex A (normative) Family specifications for A1a multimode fibres	16
A.1 General	16
A.2 Dimensional requirements	16
A.3 Mechanical requirements	17
A.4 Transmission requirements	17
A.5 Environmental requirements	18
Annex B (normative) Family specifications for A1b multimode fibres	19
B.1 General	19
B.2 Dimensional requirements	19
B.3 Mechanical requirements	19
B.4 Transmission requirements	19
B.5 Environmental requirements	20
Annex C (normative) Family specifications for A1d multimode fibres	21
C.1 General	21
C.2 Dimensional requirements	21
C.3 Mechanical requirements	21
C.4 Transmission requirements	21
C.5 Environmental requirements	22
Annex D (normative) Fibre differential mode delay (DMD) and calculated effective modal bandwidth (EMB _c) requirements	23
D.1 A1a.2 fibre DMD requirements	23
D.1.1 General	23
D.1.2 DMD templates	23
D.1.3 DMD interval masks	24
D.2 A1a.2 fibre EMB _c requirements	25
D.2.1 General	25
D.2.2 Calculated effective bandwidth	25
D.3 A1a.3 DMD requirements	27
D.3.1 General	27
D.3.2 DMD templates	27
D.3.3 DMD interval masks	28

D.4	A1a.3 fibre EMB _C requirements.....	28
D.4.1	General	28
D.4.2	Calculated effective bandwidth	28
Annex E	(informative) Modal bandwidth considerations and transmitter requirements	29
E.1	Background.....	29
E.2	Transmitter encircled flux (EF) and centre wavelength requirements.....	29
E.2.1	Encircled flux.....	29
E.2.2	Centre wavelength.....	29
E.3	EMB.....	30
Annex F	(informative) Bandwidth nomenclature explanation.....	31
Annex G	(informative) Preliminary indications for items needing further study.....	32
G.1	Effective modal bandwidth (EMB) at 1 300 nm	32
G.2	Scaling of EMB with DMD	32
Annex H	(informative) Applications supported by A1 fibres	34
H.1	Internationally standardised applications.....	34
H.2	Used commercial bandwidth specifications	34
H.3	Cross reference of fibre types in this standard and ISO/IEC 11801	35
H.4	Reference documents	35
Annex I	(informative) 1-Gigabit, 10-Gigabit, 40-Gigabit and 100-Gigabit Ethernet applications	36
Bibliography		40
Figure 1	– Relation between bandwidths at 850 nm and 1 300 nm	13
Figure D.1	– DMD template requirements	24
Table 1	– Dimensional attributes and measurement methods.....	10
Table 2	– Dimensional requirements common to category A1 fibres.....	10
Table 3	– Additional dimensional attributes required in family specifications	10
Table 4	– Mechanical attributes and measurement methods	11
Table 5	– Mechanical requirements common to category A1 fibres	11
Table 6	– Transmission attributes and measurement methods	12
Table 7	– Additional transmission attributes required in family specifications	12
Table 8	– Environmental exposure tests	13
Table 9	– Attributes measured for environmental tests.....	14
Table 10	– Strip force for environmental tests	14
Table 11	– Tensile strength for environmental tests	14
Table 12	– Stress corrosion susceptibility for environmental tests.....	15
Table 13	– Change in attenuation for environmental tests.....	15
Table A.1	– Dimensional requirements specific to A1a fibres	16
Table A.2	– Mechanical requirements specific to A1a fibres.....	17
Table A.3	– Transmission requirements specific to A1a fibres.....	18
Table B.1	– Dimensional requirements specific to A1b fibres	19
Table B.2	– Mechanical requirements specific to A1b fibres.....	19
Table B.3	– Transmission requirements specific to A1b fibres.....	20
Table C.1	– Dimensional requirements specific to A1d fibres	21

Table C.2 – Mechanical requirements specific to A1d fibres.....	21
Table C.3 – Transmission requirements specific to A1d fibres.....	22
Table D.1 – DMD templates for A1a.2 fibres	23
Table D.2 – DMD interval masks for A1a.2 fibres	25
Table D.3 – DMD weightings (<i>1 of 2</i>)	26
Table D.4 – DMD templates for A1a.3 fibres	28
Table D.5 – DMD interval masks for A1a.3 fibres	28
Table F.1 – Bandwidth nomenclature explanation	31
Table H.1 – Some internationally standardised applications supported by A1a and A1b fibres	34
Table H.2 – Typically used commercial bandwidth specifications for A1a and A1b graded-index multimode fibres	35
Table H.3 – Cross reference between this standard and ISO/IEC 11801	35
Table I.1 – Summary of 1 Gb/s, 10 Gb/s, 40 Gb/s and 100 Gb/s Ethernet requirements and capabilities (<i>1 of 3</i>)	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 fifth edition cancels and replaces the fourth edition published in 2011. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) addition of enhanced macrobending multimode fibres A1a.1b, A1a.2b and A1a.3b;
- b) inclusion of the specified test wavelength and specimen length for core diameter (CD), numerical aperture (NA), differential mode delay (DMD) and threshold values for CD and NA;
- c) addition of a specimen length for 850 nm bandwidth of A1a and A1b fibres.

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

CDV	Report on voting
86A/1631/CDV	86A/1664/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 in 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 website 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 applies to 50/125 μm graded index fibre. Three bandwidth grades are defined as A1a.1, A1a.2 and A1a.3. Each of these bandwidth grades is defined for two levels of macrobend loss performance that are distinguished by “a” or “b” suffix. Those with suffix “a” are specified to meet traditional macrobend loss performance levels. Those with suffix “b” are specified to meet enhanced macrobend loss (i.e. lower loss) performance levels.

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, local area networks (LANs), storage area networks (SANs), private branch exchanges (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 documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. 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 (all parts), *Optical fibres – Part 1: Measurement methods and test procedures*

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 measurement*

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) tests*

IEC 60793-1-51, *Optical fibres – Part 1-51: Measurement methods and test procedures – Dry heat (steady state) tests*

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

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

IEC 60793-2:2011, *Optical fibres – Part 2: Product specifications – General*

IEC 61280-4-1, *Fibre-optic communication subsystem test procedures – Part 4-1: Installed cable plant – Multimode attenuation measurement*

IEC TR 61931, *Fibre optic – Terminology*

3 Terms, definitions and abbreviations

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60793-2, the IEC 60793-1 series and IEC 61931 apply.

3.2 Abbreviations

CD	core diameter
CPR	coupled power ratio
DMD	differential mode delay
EF	encircled flux
EMB	effective modal bandwidth
EMBc	calculated effective modal bandwidth
LAN	local area network
MMF	multimode fibre
NA	numerical aperture
OFL	overfilled launch
OMBc	overfilled launch modal bandwidth calculated from differential mode delay (also known as OFLc)
PBX	private branch exchange
PMD	physical medium dependent
ROFL	radial overfilled launch
SAN	storage area network

4 Specifications

NOTE 1 The fibre consists of a glass core with a graded index profile and a glass cladding in accordance with IEC 60793-2:2011, 5.1.

NOTE 2 The term “glass” usually refers to material consisting of non-metallic oxides.

4.1 Dimensional requirements

Dimensional attributes and measurement methods are given in Table 1.

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

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

Table 1 – Dimensional attributes and measurement methods

Attribute	Measurement method
Cladding diameter	IEC 60793-1-20
Core diameter ^{a, b}	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
^a Core diameter is specified at $850 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$ with a test specimen length of $2,0 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$ and a threshold value, k_{CORE} of 0,025 for A1 fibres except A1a.1b/2b/3b fibres. ^b Core diameter is specified at $850 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$ with a test specimen length of $100 \text{ m} \pm 5 \%$ and a threshold value, k_{CORE} of 0,025 for A1a.1b/2b/3b fibres.	

Table 2 – Dimensional requirements common to category A1 fibres

Attribute	Unit	Limit
Core non-circularity	%	≤ 6
Primary coating diameter – uncoloured ^b	μm	245 ± 10
Primary coating diameter – coloured ^b	μm	250 ± 15
Primary coating-cladding concentricity error	μm	$\leq 12,5$
Fibre length	km	^a
^a Length requirements vary and should be agreed between supplier and customer. ^b The above limits on primary coating diameter are most commonly used in telecommunications cables. There are other applications, which use other primary coating diameters, several of which are listed below. Alternative nominal primary coating diameters and tolerance (μm): 400 ± 40 500 ± 50 700 ± 100 900 ± 100		

Table 3 – Additional dimensional attributes required in family specifications

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

4.2 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

Attribute	Test method
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

Attribute	Unit	Limit
Proof stress level	GPa	$\geq 0,69^a$
Average strip force ^b	N	$1,0 \leq F_{avg} \leq 5,0$
Peak strip force ^b	N	$1,0 \leq F_{peak} \leq 8,9$
Tensile strength (median) for 0,5m specimen length	GPa	$\geq 3,8$
Stress corrosion susceptibility constant	n_d	≥ 18
^a The proof test value of 0,69 GPa equals about 1 % strain or about 8,8 N force, for A1a and A1b fibres. For the relation between these different units, see 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 supplier and customer.		

4.3 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

Attribute	Measurement method
Attenuation coefficient	IEC 60793-1-40
Modal bandwidth ^{a,b}	IEC 60793-1-41
Numerical aperture ^{c,d}	IEC 60793-1-43
Chromatic dispersion	IEC 60793-1-42
Change of optical transmission	IEC 60793-1-46
Macrobending loss	IEC 60793-1-47
Differential mode delay ^e	IEC 60793-1-49
^a For modal bandwidth either overfilled launch (OFL) or overfilled launch modal bandwidth calculated from differential mode delay (OMBc) can be used. OMBc is the reference test method for A1a fibres at 850 nm. ^b 850 nm modal bandwidth is specified at 850 nm $\pm$ 10 nm with a test specimen length of 1 000 m $\pm$ 5 % for A1a fibres. ^c Numerical aperture is specified at 850 nm $\pm$ 10 nm with a test specimen length of 2 m $\pm$ 0,2 m and a threshold value, k_{NA} of 0,05 for A1 fibres except A1a.1b/2b/3b fibres. ^d Numerical aperture is specified at 850 nm $\pm$ 10 nm with a test specimen length of 100 m $\pm$ 5 % and a threshold value, k_{NA} of 0,05 for A1a.1b/2b/3b fibres. ^e Differential mode delay is specified at 850 nm $\pm$ 10 nm with a test specimen length of 1 000 m $\pm$ 5 % for A1a fibres.	

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

Table 7 – Additional transmission attributes required in family specifications

Attribute
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 supplier and 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 IEC 60793-2:2011, 5.1). 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).

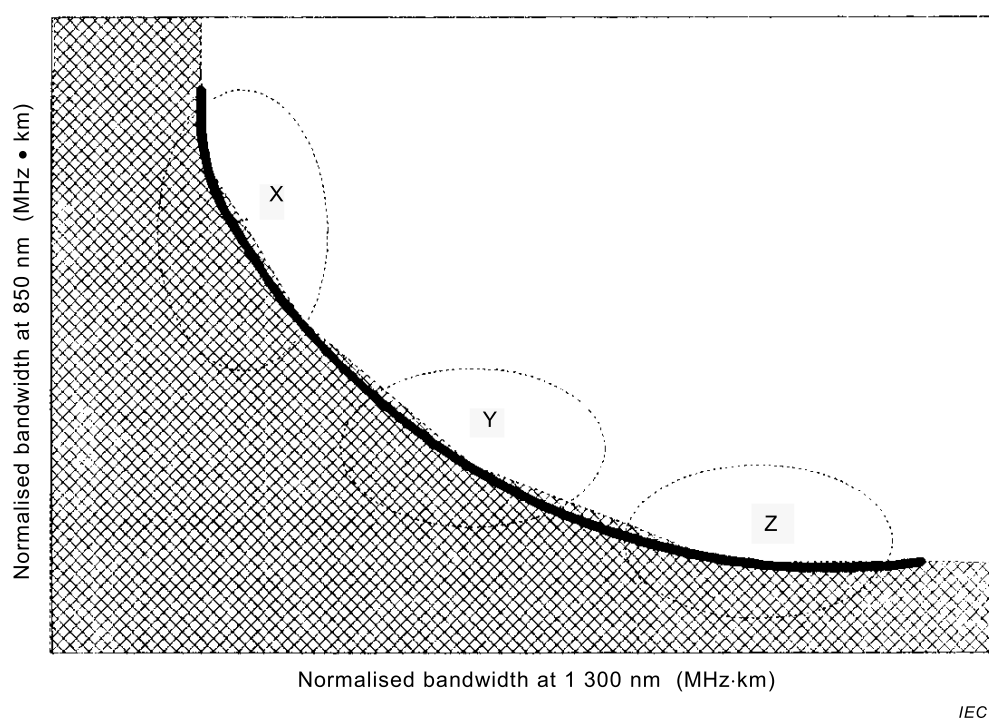


Figure 1 – Relation between bandwidths at 850 nm and 1 300 nm

4.4 Environmental requirements

4.4.1 General

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.

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

4.4.2.1 General

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.

4.4.2.2 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	$1,0 \leq F_{\text{avg}} \leq 5,0$	$1,0 \leq F_{\text{peak}} \leq 8,9$
Water immersion	$1,0 \leq F_{\text{avg}} \leq 5,0$	$1,0 \leq F_{\text{peak}} \leq 8,9$

4.4.2.3 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		

4.4.2.4 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, n_d
Damp heat	≥ 18
NOTE This requirement does not apply to hermetically coated fibre.	

4.4.3 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

Annex A contains 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 is a 50/125 μm graded index fibre. Three bandwidth grades are defined as models A1a.1, A1a.2, and A1a.3. All three are specified using overfilled bandwidth metrics, while types A1a.2 and A1a.3 also apply differential mode delay metrics to specify two bandwidth grades of 850 nm laser-optimised 50/125 μm fibres.

Each of these three bandwidth grades is also specified for two levels of macrobend loss performance that are distinguished by “a” or “b” suffix. Those with suffix “a” (i.e. A1a.1a, A1a.2a and A1a.3a) are specified to meet traditional macrobend loss performance levels. Those with suffix “b” (i.e. A1a.1b, A1a.2b and A1a.3b) are specified to meet enhanced macrobend loss (i.e. lower loss) performance levels.

The nomenclature for the A1a family establishes a coding hierarchy that permits designation of fibres with increasing specificity. For example, purchase orders for A1a fibres may be filled by any of the models specified in Annex A, while purchase orders for A1a.2 may be filled by A1a.2a or A1a.2b. As a result, where specifications and descriptions apply to all models at lower hierarchical levels, only the common root is stated.

The dimensional, mechanical and environmental requirements are common to all and specified in Tables A.1 and A.2. The common and distinguishing 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 ± 1	
Cladding non-circularity	%	≤ 1	
Core diameter	μm	$50 \pm 2,5$	4.1 (Table 1)
Core-cladding concentricity error	μm	≤ 2	
Core non-circularity	%	≤ 6	4.1
Primary coating diameter – uncoloured	μm	245 ± 10	4.1
Primary coating diameter – coloured	μm	250 ± 15	4.1
Primary coating-cladding concentricity error	μm	$\leq 12,5$	4.1
Length	km	(see 4.1)	4.1 (Table 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	4.2
Average strip force ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{avg}} \leq 5,0$	4.2
Peak strip force ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{peak}} \leq 8,9$	4.2

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 model				A1a.1	A1a.2	A1a.3		
Maximum attenuation coefficient at 850 nm			dB/km	2,5				
Maximum attenuation coefficient at 1 300 nm			dB/km	0,8				
Minimum modal bandwidth-length product for overfilled launch at 850 nm			MHz·km	500	1 500	3 500	4.3 (Table 6)	
Minimum modal bandwidth-length product for overfilled launch at 1 300 nm			MHz·km	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	4.3 (Table 6), Annexes D, E, F, G	
Numerical aperture			Dimensionless	0,20 ± 0,015			4.3 (Table 6)	
Maximum macrobending loss ^a	Bending radius	Number of turns	dB	A1a.1a	A1a.2a	A1a.3a		
				Max at 850 nm / 1 300 nm				
		37,5 mm		100	0,5 / 0,5			
		15 mm		2	1,0 / 1,0			
	Bending radius	Number of turns	dB	A1a.1b	A1a.2b	A1a.3b		
				Max at 850 nm / 1 300 nm				
				0,5 / 0,5				
				0,1 / 0,3				
				0,2 / 0,5				
Zero dispersion wavelength, λ_0			nm	$1\,295 \leq \lambda_0 \leq 1\,340$ ^b				
Zero dispersion slope, S_0 - from $1\,295\text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,310\text{ nm}$ - from $1\,310\text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,340\text{ nm}$			ps/nm ² ·km	$\leq 0,105$ ^b $\leq 0,000\,375\,(1\,590 - \lambda_0)$ ^b				
^a The launch condition for the macrobending loss measurement shall fulfil that described in IEC 61280-4-1.								
^b The worst case chromatic dispersion coefficient at 850 nm (e.g. $S_0 = 0,093\,75\text{ ps/nm}^2\cdot\text{km}$ at $\lambda_0 = 1\,340\text{ nm}$ or $S_0 = 0,101\,25\text{ ps/nm}^2\cdot\text{km}$ at $\lambda_0 = 1\,320\text{ nm}$) is -104 ps/nm·km.								

A.5 Environmental requirements

The requirements of 4.4 shall be met.

Annex B (normative)

Family specifications for A1b multimode fibres

B.1 General

Annex B contains 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

Attribute	Unit	Limit	Reference
Cladding diameter	µm	125 ± 2	
Cladding non-circularity	%	≤ 2	
Core diameter	µm	62,5 ± 3	4.1 (Table 1)
Core-cladding concentricity error	µm	≤ 3	
Core non-circularity	%	≤ 6	4.1
Primary coating diameter – uncoloured	µm	245 ± 10	4.1
Primary coating diameter – coloured	µm	250 ± 15	4.1
Primary coating-cladding concentricity error	µm	≤ 12,5	4.1
Length	Km	(see 4.1)	4.1 (Table 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

Attribute	Unit	Limit	Reference
Proof stress level	GPa	≥ 0,69 ^{SS}	4.2
Average strip force ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{avg} \leq 5,0$	4.2
Peak strip force ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{peak} \leq 8,9$	4.2

B.4 Transmission requirements

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

Table B.3 – Transmission requirements specific to A1b fibres

Attribute	Unit	Limit	Reference
Maximum attenuation coefficient at 850 nm	dB/km	3,0	
Maximum attenuation coefficient at 1 300 nm	dB/km	1,0	
Minimum modal bandwidth at 850 nm	MHz.km	200	
Minimum modal bandwidth at 1 300 nm	MHz.km	500	
Numerical aperture	Dimensionless	$0,275 \pm 0,015$	4.3 (Table 6)
Maximum macrobending loss 100 turns on bending radius of 37,5 mm at wavelengths 850 nm and 1 300 nm ^a	dB	0,5	
Zero dispersion wavelength, λ_0	nm	$1\,320 \leq \lambda_0 \leq 1\,365$ ^b	
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	$\leq 0,11$ ^b $\leq 0,001 (1\,458 - \lambda_0)$ ^b	
^a The launch condition for the macrobending loss measurement shall fulfil that described in IEC 61280-4-1.			
^b The worst case chromatic dispersion coefficient at 850 nm ($S_0 = 0,11$ ps/nm ² .km at $\lambda_0 = 1\,348$ nm) is -125 ps/nm.km.			

B.5 Environmental requirements

The requirements of 4.4 shall be met.

Annex C (normative)

Family specifications for A1d multimode fibres

C.1 General

Annex C contains 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

Attribute	Unit	Limit	Reference
Cladding diameter	μm	140 ± 4	
Cladding non-circularity	%	≤ 4	
Core diameter	μm	100 ± 5	4.1 (Table 1)
Core-cladding concentricity error	μm	≤ 6	
Core non-circularity	%	≤ 6	4.1
Primary coating diameter – uncoloured	μm	245 ± 10	4.1
Primary coating diameter – coloured	μm	250 ± 15	4.1
Primary coating-cladding concentricity error	μm	$\leq 12,5$	4.1
Length	km	(see 4.1)	4.1 (Table 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

Attribute	Unit	Limit	Reference
Proof stress level	GPa	$\geq 0,69^{SS}$	4.2
Average strip force ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{avg}} \leq 5,0$	4.2
Peak strip force ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{peak}} \leq 8,9$	4.2

C.4 Transmission requirements

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

Table C.3 – Transmission requirements specific to A1d fibres

Attribute	Unit	Limit	Reference
Maximum attenuation coefficient at 850 nm ^a	dB/km	3,5 to 7,0	
Maximum attenuation coefficient at 1 300 nm ^a	dB/km	1,5 to 4,5	
Minimum modal bandwidth at 850 nm ^a	MHz·km	10 to 200	
Minimum modal bandwidth at 1 300 nm ^a	MHz·km	100 to 300	
Numerical aperture	Dimensionless	0,26 ± 0,03 or 0,29 ± 0,03	4.3 (Table 6)
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 $\leq 0,000\,5\,(1\,575 - \lambda_0)$ ^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 $-126\text{ ps/nm}\cdot\text{km}$.			

C.5 Environmental requirements

The requirements of 4.4 shall be met.

Annex D (normative)

Fibre differential mode delay (DMD) and calculated effective modal bandwidth (EMBc) 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.1.2 and D.1.3. 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 in Table D.1, each of which includes an inner and outer mask requirement, when measured according to IEC 60793-1-49.

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

Template number	Inner mask DMD (ps/m) for $R_{\text{INNER}} = 5 \mu\text{m}$ to $R_{\text{OUTER}} = 18 \mu\text{m}$	Outer mask DMD (ps/m) for $R_{\text{INNER}} = 0 \mu\text{m}$ to $R_{\text{OUTER}} = 23 \mu\text{m}$
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 according to IEC 60793-1-49) is plotted versus the radial offset position of the single mode probe. There is a trade-off between the tightness of the inner mask and the outer mask to ensure a sufficient amount of the baud energy from a transmitter (meeting the launch specifications) arrives within the required time period (defined by the baud rate of the transmission system).

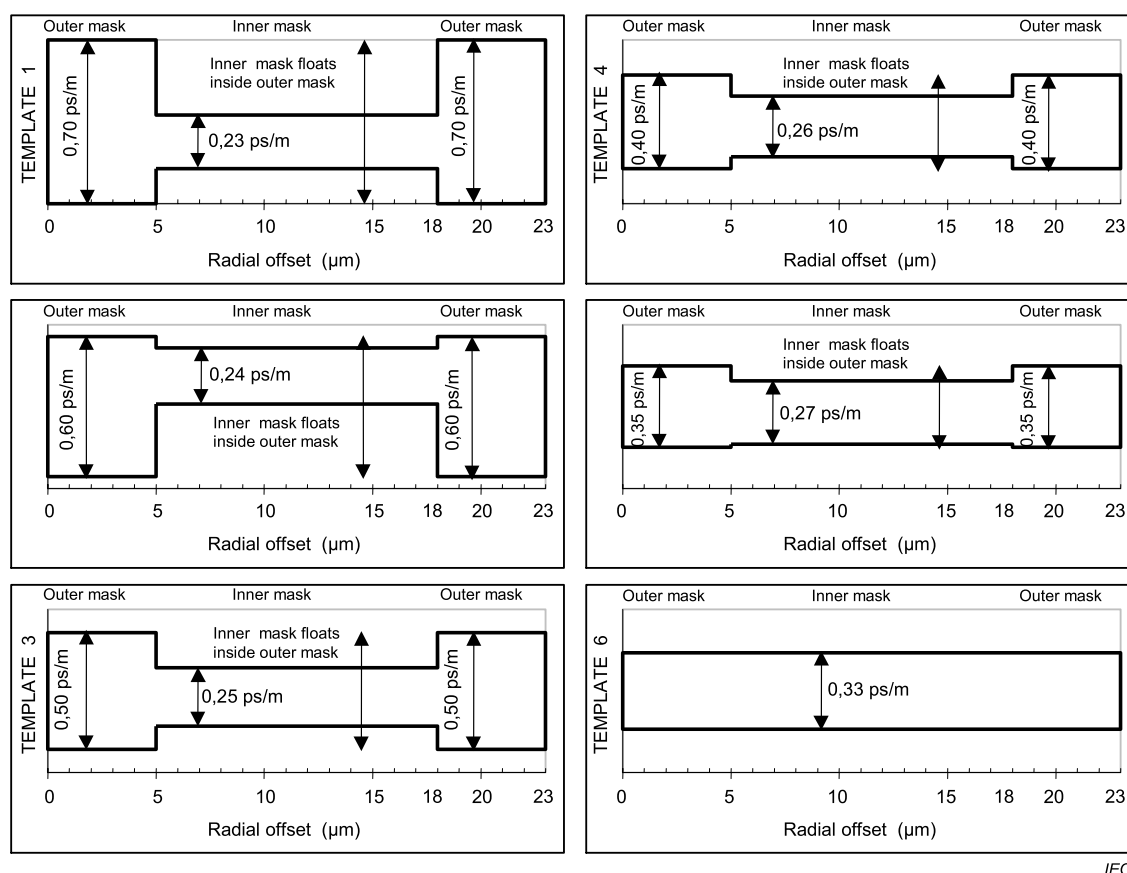


Figure D.1 – DMD template requirements

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 to 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 change 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 (minEMB_c) within this set shall meet the requirement of Equation D.1:

$$\text{Minimum } \text{EMB}_c \geq 1\,770 \text{ MHz}\cdot\text{km} \quad (\text{D.1})$$

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.

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 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 (1 of 2)

Radial position	Laser ID				
r (μm)	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0
1	0,033 023	0,023 504	0	0	0
2	0,262 463	0,188 044	0	0	0
3	0,884 923	0,634 634	0	0	0
4	2,009 102	1,447 235	0,007 414	0,005 637	0,003 034
5	3,231 216	2,376 616	0,072 928	0,055 488	0,029 856
6	3,961 956	3,052 908	0,262 906	0,200 05	0,107 634
7	3,694 686	3,150 634	0,637 117	0,483 667	0,258 329
8	2,644 369	2,732 324	1,197 628	0,896 95	0,458 494
9	1,397 552	2,060 241	1,916 841	1,402 833	0,661 247
10	0,511 827	1,388 339	2,755 231	1,957 805	0,826 035
11	0,110 549	0,834 722	3,514 797	2,433 247	1,000 204
12	0,004 097	0,419 715	3,883 317	2,639 299	1,294 439
13	0,000 048	0,160 282	3,561 955	2,397 238	1,813 982
14	0,001 111	0,047 143	2,617 093	1,816 953	2,506 95
15	0,005 094	0,044 691	1,480 325	1,296 977	3,164 213
16	0,013 918	0,116 152	0,593 724	1,240 553	3,572 113
17	0,026 32	0,219 802	0,153 006	1,700 02	3,618 037
18	0,036 799	0,307 088	0,012 051	2,240 664	3,329 662
19	0,039 465	0,329 314	0	2,394 077	2,745 395
20	0,032 152	0,268 541	0	1,952 429	1,953 241
21	0,019 992	0,166 97	0	1,213 833	1,137 762
22	0,008 832	0,073 514	0	0,534 474	0,494 404
23	0,002 612	0,021 793	0	0,158 314	0,146 517
24	0,000 282	0,002 679	0	0,019 738	0,018 328
25	0	0	0	0	0

Table D.3 (2 of 2)

Radial position	Laser ID				
r (μm)	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0
1	0,015 199	0,016 253	0,022 057	0,010 43	0,015 681
2	0,120 91	0,129 011	0,176 39	0,083 496	0,124 978
3	0,407 702	0,434 844	0,595 248	0,281 802	0,421 548
4	0,925 664	0,987 184	1,351 845	0,650 28	0,957 203
5	1,488 762	1,587 6	2,174 399	1,130 599	1,539 535
6	1,825 448	1,94 661 4	2,666 278	1,627 046	1,887 747
7	1,702 306	1,815 285	2,486 564	2,044 326	1,762 955
8	1,218 378	1,299 241	1,780 897	2,291 72	1,292 184
9	0,643 911	0,686 635	0,945 412	2,280 813	0,790 844
10	0,238 557	0,255 85	0,360 494	1,937 545	0,559 38
11	0,098 956	0,131 429	0,163 923	1,383 006	0,673 655
12	0,204 274	0,327 091	0,318 712	0,878 798	1,047 689
13	0,529 982	0,848 323	0,778 983	0,679 756	1,589 037
14	1,024 948	1,567 513	1,383 174	0,812 36	2,138 626
15	1,611 695	2,224 027	1,853 992	1,074 702	2,470 827
16	2,210 689	2,555 06	1,914 123	1,257 323	2,361 764
17	2,707 415	2,464 566	1,511 827	1,255 967	1,798 213
18	2,938 8	2,087 879	0,908 33	1,112 456	1,059 264
19	2,739 32	1,577 111	0,386 991	0,879 309	0,444 481
20	2,090 874	1,056 343	0,111 76	0,608 183	0,123 304
21	1,261 564	0,595 102	0,014 829	0,348 921	0,012 552
22	0,552 14	0,256 718	0,001 818	0,151 12	0
23	0,163 627	0,076 096	0,000 54	0,044 757	0
24	0,020 443	0,009 446	0	0,005 639	0
25	0	0	0	0	0

D.3 A1a.3 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.3.3. 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 according to 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 according to 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 ($\min EMB_c$) within this set shall meet the requirement of Equation D.2:

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

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 Clauses D.1 and D.3, and the DMD weightings specified in Clauses 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 according to IEC 61280-1-4 [15] with the transmitter coupled into a 50-µm fibre meeting the specifications of this document.

$$\text{EF at radius } 4.5 \text{ } \mu\text{m} \leq 30 \% \quad (\text{E.1})$$

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

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 appropriate to de-rate the modal bandwidth when the transmitter is not operating at

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

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 according to 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 E.2 [20 to 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 E.2 [1 to 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.

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

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

Fibres passing the requirements of Clauses D.3 and D.4 (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.

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

System performance studies with actual fibres and laser sources support this relationship [17 to 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 (EMBc)	The calculated modal bandwidth resulting from a particular weighting of a particular DMD.
Minimum calculated effective modal bandwidth (minimum EMBc) or (min EMBc)	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 $\geq 2\,000$ MHz·km EMB at 850 nm will also provide ≥ 500 MHz·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 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 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 MHz·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:

- 1) the fibre is used with transmitters meeting the specifications in Clause E.2,
- 2) the radial offset limits of the templates are not changed, and

- 3) 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 bandwidth². 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 $\geq 1\,000$ MHz·km (one-half of 2 000 MHz·km) can be provided with fibre meeting any of the six DMD templates given in Clause D.1, each with double the DMD temporal width in both the inner and outer masks, and an overfilled bandwidth-length product of ≥ 750 MHz·km.

² [Smith and Personick, 1982; Brown, 1992]

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 A1b fibres**

Application	Source	Name
10BASE-F	ISO/IEC/IEEE 8802-3	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 14165-115 ISO/IEC 14165-116	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
100GBASE-SR4	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 OFL ^a condition (unless otherwise indicated) at 850 nm (MHz·km)	Minimum modal bandwidth for OFL ^a condition (unless otherwise indicated) at 1 300 nm (MHz·km)	Possible application area
A1a.1	500	500	Medium bit rate/medium 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	200	500	Medium bit rate/medium distance
^a OFL = Overfilled launch			
^b EMB = Effective modal bandwidth (see Annexes D, E, F and G)			

H.3 Cross reference of fibre types in this standard and ISO/IEC 11801

This standard specifies fibre types A1a.1 and A1b with a specific core according to ISO/IEC 11801 specified cabled optical fibre performance categories OM1 and OM2 with a range of core diameters and a specific bandwidth cell. 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 ISO/IEC 11801 is updated. The cross reference is given in Table H.3.

Table H.3 – Cross reference between this standard and ISO/IEC 11801

Attribute	IEC 60793-2-10				ISO/IEC 11801					
IEC type and ISO/IEC designation	A1b	A1a.1	A1a.2	A1a.3	OM1		OM2		OM3	OM4
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)	200	500	1 500	3 500	200		500		1 500	3 500
Minimum modal bandwidth-length product for overfilled launch at 1 300 nm (MHz·km)	500	500	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

Reference documents are listed in the bibliography.

Annex I

(informative)

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

Annex I is intended to outline a summary of category A1a and A1b fibre requirements and related transmission capabilities for the 1-Gigabit, 10-Gigabit, 40-Gigabit, and 100-Gigabit Ethernet application standards in development within IEEE 802.3. All the Ethernet applications at 1 Gb/s or higher are considered as “laser launch” applications.

Table I.1 shows a summary of 1 Gb/s, 10 Gb/s, 40 Gb/s 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 1 Gb/s 850 nm operations on fibres characterised solely by overfilled launch (OFL) bandwidth. CPR is defined in IEC 61280-4-1, ROFL is defined in IEEE 802.3.
- Encircled Flux (EF) requirements for 10 Gb/s, 40 Gb/s and 100 Gb/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.

Table I.1 – Summary of 1 Gb/s, 10 Gb/s, 40 Gb/s and 100 Gb/s Ethernet requirements and capabilities (1 of 3)

-Fibre type	Bit rate Gb/s	Nominal wavelength									
		850 nm					1 300 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
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
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

-Fibre type	Bit rate Gb/s	Nominal wavelength									
		850 nm					1 300 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.1	10	400 for OFL	n.s.	10GBASE-S	EF at 4,5 mm 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
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.

-Fibre type	Bit rate Gb/s	Nominal wavelength									
		850 nm					1 300 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.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.2	100	1 500 for OFL	2 000	100GBASE-SR4	EF at 4,5 µm radius ≤ 30 %, EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %	70	500 for OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A1a.3	10	3 500 for OFL	4 700	10BASE-S	EF at 4,5 µm radius ≤ 30 %, EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %	400	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.
A1a.3	100	3 500 for OFL	4 700	100GBASE-SR4	EF at 4,5 mm radius ≤ 30 %, EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %	100	500 for OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
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.											

Bibliography

- [1] J. Ritger, J. Abbott, “New Delay Set for TIA Modelling”, White paper, June 1, 2001, available at <http://www.tiaonline.org/>
- [2] J. Ritger, J. Abbott, “Fiber Delays for 10 Gb Risk Assessment”, Presentation to FO2.2.1, June 25, 2001, available at <http://www.tiaonline.org/>
- [3] P. Kolesar, “Source Characteristics Development”, Presentation to FO2.2.1, June 2001, available at <http://www.tiaonline.org/>
- [4] S. Golowich, J. Ritger, P. Kolesar, “Simulation of 50 μm 10 Gb Links”, Presentation to FO2.2.1, June 25, 2001, available at <http://www.tiaonline.org/>
- [5] S. Golowich, P. Kolesar, J. Ritger, G. Giaretta, “Modelling, Simulation, and Experimental Study of a 50 μm 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, available at <http://www.tiaonline.org/>
- [7] S. Golowich, P. Kolesar, J. Ritger, P. Pepeljugoski, “Modelling 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 μm 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 2001paper
- [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 μm 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 communication 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 60793-1-1, *Optical fibres – Part 1-1: Measurement methods and test procedures – General and guidance*

Non-numbered references

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

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

Reference documents (see Clause H.4)

ATM af-phy-0062.000 155.52 Mbps Physical Layer Interface Specification for Short Wavelength Laser”, July 1996

ATM af-phy-0046.000 622.08 Mbps Physical Layer Specification”, January 1996

ISO/IEC/IEEE 8802-3, *Standard for Ethernet*

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

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

ISO/IEC 8802-5, *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*

ISO/IEC 11518-1, *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 14165-115, *Information technology – Fibre channel – Part 115: Physical interfaces (FC-PI)*

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	47
1 Domaine d'application	49
2 Références normatives	49
3 Termes, définitions et abréviations	51
3.1 Termes et définitions	51
3.2 Abréviations	51
4 Spécifications	51
4.1 Exigences dimensionnelles	51
4.2 Exigences mécaniques	52
4.3 Exigences de transmission	53
4.4 Exigences environnementales	55
4.4.1 Généralités	55
4.4.2 Exigences liées à l'environnement mécanique (communes à toutes les fibres de catégorie A1)	56
4.4.3 Exigences d'environnement pour la transmission	57
Annexe A (normative) Spécifications de famille pour les fibres multimodales de type A1a	58
A.1 Généralités	58
A.2 Exigences dimensionnelles	58
A.3 Exigences mécaniques	59
A.4 Exigences de transmission	59
A.5 Exigences environnementales	60
Annexe B (normative) Spécifications de famille pour les fibres multimodales de type A1b	61
B.1 Généralités	61
B.2 Exigences dimensionnelles	61
B.3 Exigences mécaniques	61
B.4 Exigences de transmission	62
B.5 Exigences environnementales	62
Annexe C (normative) Spécifications de famille pour les fibres multimodales de type A1d	63
C.1 Généralités	63
C.2 Exigences dimensionnelles	63
C.3 Exigences mécaniques	63
C.4 Exigences de transmission	64
C.5 Exigences environnementales	64
Annexe D (normative) Exigences concernant le retard de mode différentiel (DMD) de la fibre et la largeur de bande modale effective calculée (EMB _c)	65
D.1 Exigences de DMD pour les fibres A1a.2	65
D.1.1 Généralités	65
D.1.2 Gabarits de DMD	65
D.1.3 Masques d'intervalle de DMD	67
D.2 Exigences d'EMB _c des fibres A1a.2	67
D.2.1 Généralités	67
D.2.2 Largeur de bande effective calculée	67
D.3 Exigences de DMD des fibres A1a.3	69

D.3.1	Généralités	69
D.3.2	Gabarits de DMD	70
D.3.3	Masques d'intervalle de DMD	70
D.4	Exigences relatives à l'EMB _C des fibres A1a.3	70
D.4.1	Généralités	70
D.4.2	Largeur de bande effective calculée	70
Annexe E (informative) Aspects concernant la largeur de bande modale et exigences d'émetteur		71
E.1	Contexte	71
E.2	Exigences de flux inscrit (EF) et de longueur d'onde centrale pour l'émetteur	71
E.2.1	Flux inscrit	71
E.2.2	Longueur d'onde centrale	72
E.3	EMB	72
Annexe F (informative) Explication de la nomenclature des largeurs de bande		74
Annexe G (informative) Indications préliminaires pour les éléments qui nécessitent une étude supplémentaire		75
G.1	Largeur de bande modale effective (EMB) à 1 300 nm	75
G.2	Graduation de l'EMB avec le DMD	76
Annexe H (informative) Applications supportées par les fibres de catégorie A1		77
H.1	Applications normalisées au niveau international	77
H.2	Spécifications de largeurs de bande à usage commercial	77
H.3	Correspondances entre les types de fibres décrits dans la présente norme et dans l'ISO/IEC 11801	78
H.4	Documents de référence	78
Annexe I (informative) Applications Ethernet 1 gigabit, 10 gigabits, 40 gigabits et 100 gigabits		79
Bibliographie		83
Figure 1 – Relation entre les largeurs de bande à 850 nm et à 1 300 nm		55
Figure D.1 – Exigences des gabarits de DMD		66
Tableau 1 – Attributs dimensionnels et méthodes de mesure		52
Tableau 2 – Exigences dimensionnelles communes aux fibres de catégorie A1		52
Tableau 3 – Attributs dimensionnels supplémentaires exigés dans les spécifications de famille		52
Tableau 4 – Attributs mécaniques et méthodes de mesure		53
Tableau 5 – Exigences mécaniques communes aux fibres de catégorie A1		53
Tableau 6 – Attributs de transmission et méthodes de mesure		54
Tableau 7 – Attributs de transmission supplémentaires exigés dans les spécifications de famille		54
Tableau 8 – Essais d'exposition à l'environnement		56
Tableau 9 – Attributs mesurés pour les essais d'environnement		56
Tableau 10 – Force de dénudage pour les essais d'environnement		56
Tableau 11 – Résistance à la traction pour les essais d'environnement		57
Tableau 12 – Résistance à la corrosion sous contrainte pour les essais d'environnement		57
Tableau 13 – Variation de l'affaiblissement pour les essais d'environnement		57

Tableau A.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres de type A1a	59
Tableau A.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres de type A1a	59
Tableau A.3 – Exigences de transmission spécifiques aux fibres de type A1a	60
Tableau B.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres de type A1b	61
Tableau B.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres de type A1b	61
Tableau B.3 – Exigences de transmission spécifiques aux fibres de type A1b	62
Tableau C.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres de type A1d	63
Tableau C.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres de type A1d	63
Tableau C.3 – Exigences de transmission spécifiques aux fibres de type A1d	64
Tableau D.1 – Gabarits de DMD pour les fibres A1a.2	65
Tableau D.2 – Masques d'intervalles de DMD pour les fibres A1a.2	67
Tableau D.3 – Pondérations DMD (<i>1 sur 2</i>)	68
Tableau D.4 – Gabarits de DMD pour les fibres A1a.3	70
Tableau D.5 – Masques d'intervalles de DMD pour les fibres A1a.3	70
Tableau F.1 – Explication de la nomenclature des largeurs de bande	74
Tableau H.1 – Quelques applications normalisées au niveau international supportées par les fibres de type A1a et A1b	77
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	78
Tableau H.3 – Correspondance entre la présente norme et l'ISO/IEC 11801	78
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 (<i>1 sur 3</i>)	80

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 (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC 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 l'IEC. L'IEC 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC 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 IEC 60793-2-10 a été établie par le sous-comité 86A: Fibres et câbles, du comité d'études 86 de l'IEC: Fibres optiques.

Cette cinquième édition annule et remplace la quatrième édition parue en 2011. Cette édition constitue une révision technique.

La présente édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) ajout des fibres multimodales à macrocourbures améliorées A1a.1b, A1a.2b et A1a.3b;
- b) intégration de la longueur d'onde d'essai et de la longueur d'échantillon spécifiées pour le diamètre du cœur (CD), l'ouverture numérique (NA), le retard de mode différentiel (DMD), et inclusion des valeurs de seuil pour le CD et la NA;

- c) ajout d'une longueur d'échantillon pour la largeur de bande à 850 nm des fibres A1a et A1b.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
86A/1631/CDV	86A/1664/RVC

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60793, publiées sous le titre général *Fibres optiques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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 l'IEC 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 l'IEC 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.

Le type A1a s'applique aux fibres à gradient d'indice de 50/125 μm . Il existe trois grades de largeur de bande, appelés A1a.1, A1a.2 et A1a.3. Chacun de ces grades de largeur de bande est défini pour deux niveaux de performances en matière de pertes dues aux macrocourbures, qui se distinguent par le suffixe «a» ou «b». Ceux qui comportent le suffixe «a» sont spécifiés de façon à satisfaire aux niveaux de performances classiques en matière de pertes dues aux macrocourbures. Ceux qui comportent le suffixe «b» sont spécifiés de façon à satisfaire aux niveaux de performances avancés en matière de pertes dues aux macrocourbures (c'est-à-dire des niveaux de perte plus faibles).

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 dans les locaux utilisateurs, englobant les centres de traitement de données, les réseaux locaux (LAN), les réseaux dédiés sauvegarde (SAN), les centraux téléphoniques privés (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 l'IEC 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 famille figurant dans les annexes normatives.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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).

IEC 60793-1 (toutes les parties), *Fibres optiques – Partie 1: Méthodes de mesure et procédures d'essai*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

IEC 60793-1-43, *Optical fibres – Part 1-43: Measurement methods and test procedures – Numerical aperture measurement* (disponible en anglais seulement)

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

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

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

IEC 60793-1-50, *Fibres optiques – Partie 1-50: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Essais de chaleur humide (état continu)*

IEC 60793-1-51, *Fibres optiques – Partie 1-51: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Essais de chaleur sèche (état continu)*

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

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

IEC 60793-2:2011, *Fibres optiques – Partie 2: Spécifications de produits – Généralités*

IEC 61280-4-1, *Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques – Partie 4-1: Installations câblées - Mesure de l'affaiblissement en multimodal*

IEC TR 61931, *Fibres optiques – Terminologie*

3 Termes, définitions et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 60793-2, la série IEC 60793-1 et l'IEC 61931 s'appliquent.

3.2 Abréviations

CD	core diameter (diamètre du cœur)
CPR	coupled power ratio (rapport de puissance couplé)
DMD	differential mode delay (retard de mode différentiel)
EF	encircled flux (flux inscrit)
EMB	effective modal bandwidth (largeur de bande modale effective)
EMBc	calculated effective modal bandwidth (largeur de bande modale effective calculée)
LAN	local area network (réseau local)
MMF	multimode fibre (fibre multimodale)
NA	numerical aperture (ouverture numérique)
OFL	overfilled launch (injection saturée)
OMBc	overfilled launch modal bandwidth (largeur de bande modale à injection saturée, calculée à partir du retard de mode différentiel), (également appelée OFLc)
PBX	private branch exchange (central téléphonique privé)
PMD	physical medium dependent (dépendant du support physique)
ROFL	radial overfilled launch (injection saturée radiale)
SAN	storage area network (réseau dédié sauvegarde)

4 Spécifications

NOTE 1 La fibre est constituée d'un cœur de verre avec un profil à gradient d'indice et d'une gaine de verre conformément à l'IEC 60793-2:2011, 5.1.

NOTE 2 Le terme «verre» se réfère habituellement à des matériaux constitués d'oxydes non métalliques.

4.1 Exigences dimensionnelles

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

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

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

Tableau 1 – Attributs dimensionnels et méthodes de mesure

Attribut	Méthode de mesure
Diamètre de la gaine	IEC 60793-1-20
Diamètre du cœur ^{a, b}	IEC 60793-1-20
Non-circularité de la gaine	IEC 60793-1-20
Non-circularité du cœur	IEC 60793-1-20
Erreur de concentricité entre le cœur et la gaine	IEC 60793-1-20
Diamètre du revêtement primaire	IEC 60793-1-21
Non-circularité du revêtement primaire	IEC 60793-1-21
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	IEC 60793-1-21
Longueur de fibre	IEC 60793-1-22
^a Le diamètre du cœur est spécifié à $850 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$ avec une longueur d'échantillon d'essai de $2,0 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$ et une valeur de seuil, k_{COEUR} , de 0,025 pour les fibres A1, à l'exception des fibres A1a.1b/2b/3b. ^b Le diamètre du cœur est spécifié à $850 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$ avec une longueur d'échantillon d'essai de $100 \text{ m} \pm 5 \%$ et une valeur de seuil, k_{COEUR} , de 0,025 pour les fibres A1a.1b/2b/3b.	

Tableau 2 – Exigences dimensionnelles communes aux fibres de catégorie A1

Attribut	Unité	Limite
Non-circularité du cœur	%	≤ 6
Diamètre du revêtement primaire – incolore ^b	μm	245 ± 10
Diamètre du revêtement primaire – coloré ^b	μm	250 ± 15
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	μm	$\leq 12,5$
Longueur de fibre	km	^a
^a Les exigences de longueurs varient et il convient qu'elles fassent l'objet d'un accord entre fournisseur et client. ^b Les limites ci-dessus sur le diamètre du revêtement primaire sont plus communément utilisées dans les câbles de télécommunications. Il existe d'autres applications qui utilisent d'autres diamètres de revêtement primaire; plusieurs d'entre eux sont donnés ci-dessous. Autres diamètres nominaux et tolérances pour le revêtement primaire (μm): 400 ± 40 500 ± 50 700 ± 100 900 ± 100		

Tableau 3 – Attributs dimensionnels supplémentaires exigés dans les spécifications de famille

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

4.2 Exigences mécaniques

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

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

Tableau 4 – Attributs mécaniques et méthodes de mesure

Attribut	Méthode d'essai
Essai d'épreuve	IEC 60793-1-30
Résistance à la traction	IEC 60793-1-31
Dénudabilité du revêtement primaire	IEC 60793-1-32
Résistance à la corrosion sous contrainte	IEC 60793-1-33
Ondulation de la fibre	IEC 60793-1-34

Tableau 5 – Exigences mécaniques communes aux fibres de catégorie A1

Attribut	Unité	Limite
Niveau de contrainte d'essai	GPa	$\geq 0,69^a$
Force de dénudage moyenne ^b	N	$1,0 \leq F_{\text{moy}} \leq 5,0$
Force de dénudage crête ^b	N	$1,0 \leq F_{\text{crête}} \leq 8,9$
Résistance à la traction (moyenne) pour une longueur d'échantillon de 0,5 m	GPa	$\geq 3,8$
Constante de résistance à la corrosion sous contrainte	n_d	≥ 18
^a La valeur d'essai d'épreuve de 0,69 GPa est égale à une déformation 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 l'IEC 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, peut être spécifiée par accord entre fournisseur et client.		

4.3 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 supplémentaires qui doivent être spécifiés par chaque spécification de famille.

Tableau 6 – Attributs de transmission et méthodes de mesure

Attribut	Méthode de mesure
Affaiblissement linéique	IEC 60793-1-40
Largeur de bande modale ^{a,b}	IEC 60793-1-41
Ouverture numérique ^{c,d}	IEC 60793-1-43
Dispersion chromatique	IEC 60793-1-42
Variations du facteur de transmission optique	IEC 60793-1-46
Pertes dues aux macrocourbures	IEC 60793-1-47
Retard de mode différentiel ^e	IEC 60793-1-49
^a Pour la largeur de bande modale, on peut utiliser soit l'injection saturée (OFL), soit la largeur de bande modale à injection saturée, calculée à partir du retard de mode différentiel (OMBc). L'OMBc est la méthode d'essai de référence pour les fibres A1a à 850 nm. ^b La largeur de bande modale 850 nm est spécifiée à 850 nm ± 10 nm avec une longueur d'échantillon d'essai de 1 000 m ± 5 % pour les fibres A1a. ^c L'ouverture numérique est spécifiée à 850 nm ± 10 nm avec une longueur d'échantillon d'essai de 2 m ± 0,2 m et une valeur de seuil, k_{NA} , de 0,05 pour les fibres A1, à l'exception des fibres A1a.1b/2b/3b. ^d L'ouverture numérique est spécifiée à 850 nm ± 10 nm avec une longueur d'échantillon d'essai de 100 m ± 5 % et une valeur de seuil, k_{NA} , de 0,05 pour les fibres A1a.1b/2b/3b. ^e Le retard de mode différentiel est spécifié à 850 nm ± 10 nm avec une longueur d'échantillon d'essai de 1 000 m ± 5 % pour les fibres A1a.	

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 supplémentaires exigés dans les spécifications de famille

Attribut
Affaiblissement linéique
Largeur de bande modale
Dispersion chromatique
Ouverture numérique
Pertes dues aux macrocourbures

Pour l'affaiblissement linéique et la largeur de bande modale, la spécification de famille contient des plages de valeurs qui peuvent être choisies par spécification au lieu des limites fixées. Les valeurs réelles de l'affaiblissement linéique maximal et de la largeur de bande modale minimale, à 850 nm et 1 300 nm (ou juste à l'une de ces longueurs d'onde) doivent faire l'objet d'un accord entre fournisseur et 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, il est fait référence à l'IEC 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 de la façon illustrée dans la Figure 1, en fonction du paramètre d'indice de réfraction, g , (voir l'IEC 60793-2:2011, 5.1). 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 sur 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 bande indiquées (par exemple 800 MHz·km/1 000 MHz·km pour les fibres multimodales de type A1b).

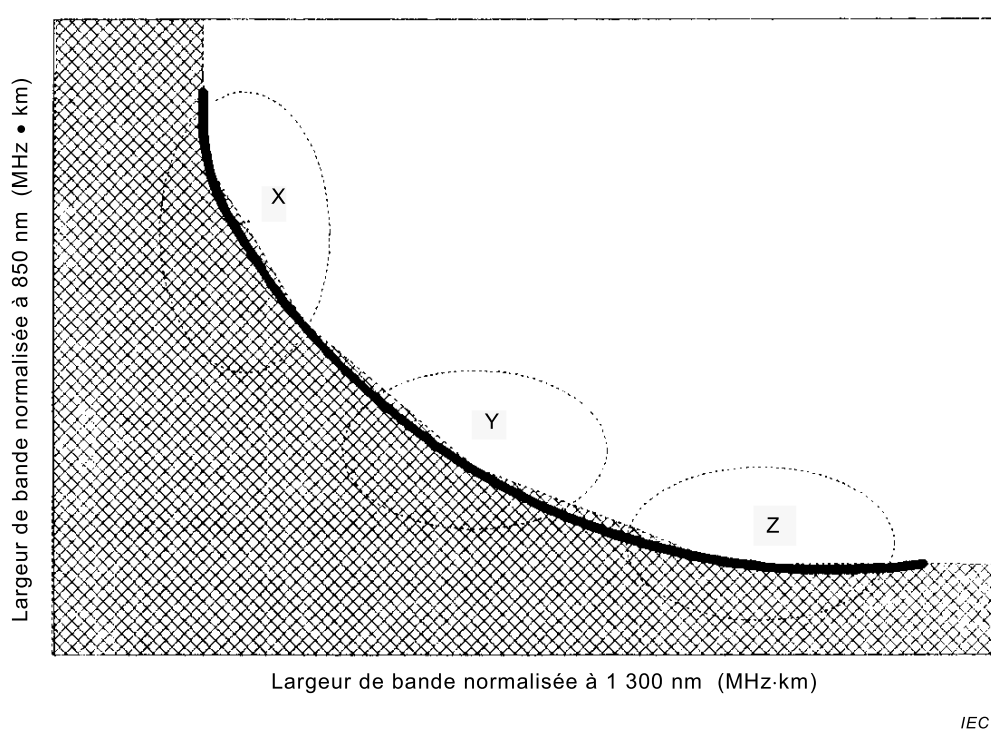


Figure 1 – Relation entre les largeurs de bande à 850 nm et à 1 300 nm

4.4 Exigences environnementales

4.4.1 Généralités

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 lors de l'application de l'environnement sont données au Tableau 9.

Tableau 8 – Essais d'exposition à l'environnement

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

Tableau 9 – Attributs mesurés pour les essais d'environnement

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

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

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

4.4.2.1 Généralités

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.

4.4.2.2 Force de dénudage

Les attributs suivants doivent être vérifiés dès que la fibre a été retirée de l'environnement.

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

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

4.4.2.3 Résistance à la traction

Les attributs suivants doivent être vérifiés dès que la fibre a été retirée de l'environnement.

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

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

4.4.2.4 Résistance à la corrosion sous contrainte

Les attributs suivants doivent être vérifiés dès que la fibre a été retirée 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, n_d
Chaleur humide	≥ 18
NOTE Cette exigence ne s'applique pas aux fibres sous revêtement hermétique.	

4.4.3 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, pour 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	$\leq 0,20$
	1 300	$\leq 0,20$
Chaleur sèche	850	$\leq 0,20$
	1 300	$\leq 0,20$
Variations de température	850	$\leq 0,20$
	1 300	$\leq 0,20$
Immersion dans l'eau	850	$\leq 0,20$
	1 300	$\leq 0,20$

Annexe A (normative)

Spécifications de famille pour les fibres multimodales de type A1a

A.1 Généralités

L'Annexe A contient 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 A1a est une fibre à gradient d'indice de 50/125 μm . Il existe trois grades de largeur de bande, appelés modèles A1a.1, A1a.2 et A1a.3. Tous trois sont spécifiés à l'aide de mesures de largeur de bande saturée, tandis que les types A1a.2 et A1a.3 utilisent également la mesure du retard de mode différentiel pour spécifier les deux grades de largeur de bande des fibres 50/125 μm optimisées pour des lasers à 850 nm.

Chacun de ces trois grades de largeur de bande est également spécifié pour deux niveaux de performances en matière de pertes dues aux macrocourbures, qui se distinguent par le suffixe «a» ou «b». Ceux qui comportent le suffixe «a» (c'est-à-dire A1a.1a, A1a.2a et A1a.3a) sont spécifiés de façon à satisfaire aux niveaux de performances classiques en matière de pertes dues aux macrocourbures. Ceux qui comportent le suffixe «b» (c'est-à-dire A1a.1b, A1a.2b et A1a.3b) sont spécifiés de façon à satisfaire aux niveaux de performances avancés en matière de pertes dues aux macrocourbures (c'est-à-dire des niveaux de perte plus faibles).

La nomenclature utilisée pour la famille A1a établit une hiérarchie de codage qui permet de désigner des fibres de spécificité croissante. Par exemple, on peut remplir des bons de commande concernant les fibres A1a en suivant n'importe lequel des modèles spécifiés dans l'Annexe A, tandis que l'on peut remplir les bons de commande concernant les fibres A1a.2 en suivant la spécification A1a.2a ou A1a.2b. Par conséquent, lorsque les spécifications et les descriptions s'appliquent à tous les modèles des niveaux hiérarchiques les plus bas, seule la racine commune est déclarée.

Les exigences dimensionnelles, mécaniques et environnementales sont communes à tous les types, et sont spécifiées dans les Tableaux A.1 et A.2. Les exigences de transmission communes et particulières 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

Attribut	Unité	Limite	Référence
Diamètre de la gaine	μm	125 ± 1	
Non-circularité de la gaine	%	≤ 1	
Diamètre du cœur	μm	50 ± 2,5	4.1 (Tableau 1)
Erreur de concentricité entre le cœur et la gaine	μm	≤ 2	
Non-circularité du cœur	%	≤ 6	4.1
Diamètre du revêtement primaire – incolore	μm	245 ± 10	4.1
Diamètre du revêtement primaire – coloré	μm	250 ± 15	4.1
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	μm	≤ 12,5	4.1
Longueur	km	(voir 4.1)	4.1 (Tableau 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

Attribut	Unité	Limite	Référence
Niveau de contrainte d'essai	GPa	≥ 0,69 SS	4.2
Force de dénudage moyenne ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{moy}} \leq 5,0$	4.2
Force de dénudage crête ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{crête}} \leq 8,9$	4.2

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

Attribut			Unité	Limite			Référence
Modèle de fibre				A1a.1	A1a.2	A1a.3	
Affaiblissement linéique maximal à 850 nm			dB/km	2,5			
Affaiblissement linéique maximal à 1 300 nm			dB/km	0,8			
Produit longueur-largeur de bande modale minimale pour injection saturée à 850 nm			MHz·km	500	1 500	3 500	4.3 (Tableau 6)
Produit longueur-largeur de bande modale minimale pour injection saturée à 1 300 nm			MHz·km	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	4.3 (Tableau 6), Annexes D, E, F, G
Ouverture numérique			Sans dimension	0,20 ± 0,015			4.3 (Tableau 6)
Pertes maximales dues aux macrocourbures ^a	Rayon de courbure	Nombre de tours	dB	A1a.1a	A1a.2a	A1a.3a	
				Max. à 850 nm / 1 300 nm			
	37,5 mm	100		0,5 / 0,5			
	15 mm	2		1,0 / 1,0			
	Rayon de courbure	Nombre de tours	dB	A1a.1b	A1a.2b	A1a.3b	
				Max. à 850 nm / 1 300 nm			
	37,5 mm	100		0,5 / 0,5			
	15 mm	2		0,1 / 0,3			
	7,5 mm	2		0,2 / 0,5			
Longueur d'onde de dispersion nulle, λ_0			nm	$1\,295 \leq \lambda_0 \leq 1\,340$ ^b			
Pente de dispersion nulle, S_0			ps/nm ² ·km	$\leq 0,105$ ^b $\leq 0,000\,375\,(1\,590 - \lambda_0)$ ^b			
- de $1\,295\,\text{nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,310\,\text{nm}$							
- de $1\,310\,\text{nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,340\,\text{nm}$							
^a La condition d'injection pour la mesure des pertes dues aux macrocourbures doit satisfaire à celle décrite dans l'IEC 61280-4-1.							
^b Le cas le plus défavorable pour le coefficient de dispersion chromatique à 850 nm (par exemple $S_0 = 0,093\,75\,\text{ps/nm}^2\cdot\text{km}$ à $\lambda_0 = 1\,340\,\text{nm}$ ou $S_0 = 0,101\,25\,\text{ps/nm}^2\cdot\text{km}$ à $\lambda_0 = 1\,320\,\text{nm}$) est de $-104\,\text{ps/nm}\cdot\text{km}$.							

A.5 Exigences environnementales

Les exigences de 4.4 doivent être satisfaites.

Annexe B (normative)

Spécifications de famille pour les fibres multimodales de type A1b

B.1 Généralités

L'Annexe B contient 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 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

Attribut	Unité	Limite	Référence
Diamètre de la gaine	µm	125 ± 2	
Non-circularité de la gaine	%	≤ 2	
Diamètre du cœur	µm	62,5 ± 3	4.1 (Tableau 1)
Erreur de concentricité entre le cœur et la gaine	µm	≤ 3	
Non-circularité du cœur	%	≤ 6	4.1
Diamètre du revêtement primaire – incolore	µm	245 ± 10	4.1
Diamètre du revêtement primaire – coloré	µm	250 ± 15	4.1
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	µm	≤ 12,5	4.1
Longueur	Km	(voir 4.1)	4.1 (Tableau 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

Attribut	Unité	Limite	Référence
Niveau de contrainte d'essai	GPa	≥ 0,69 ^{SS}	4.2
Force de dénudage moyenne ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{moy}} \leq 5,0$	4.2
Force de dénudage crête ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{crête}} \leq 8,9$	4.2

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

Attribut	Unité	Limite	Référence
Affaiblissement linéique maximal à 850 nm	dB/km	3,0	
Affaiblissement linéique maximal à 1 300 nm	dB/km	1,0	
Largeur de bande modale minimale à 850 nm	MHz·km	200	
Largeur de bande modale minimale à 1 300 nm	MHz·km	500	
Ouverture numérique	Sans dimension	$0,275 \pm 0,015$	4.3 (Tableau 6)
Pertes maximales dues aux macrocourbures 100 tours de rayon de courbure 37,5 mm à des longueurs d'ondes de 850 nm et 1 300 nm ^a	dB	0,5	
Longueur d'onde de dispersion nulle, λ_0	nm	$1\,320 \leq \lambda_0 \leq 1\,365$ ^b	
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	$\leq 0,11$ ^b $\leq 0,001 (1\,458 - \lambda_0)$ ^b	
^a La condition d'injection pour la mesure des pertes dues aux macrocourbures doit satisfaire à celle décrite dans l'IEC 61280-4-1. ^b Le cas le plus défavorable pour le 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 4.4 doivent être satisfaites.

Annexe C (normative)

Spécifications de famille pour les fibres multimodales de type A1d

C.1 Généralités

L'Annexe C contient 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 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

Attribut	Unité	Limite	Référence
Diamètre de la gaine	μm	140 ± 4	
Non-circularité de la gaine	%	≤ 4	
Diamètre du cœur	μm	100 ± 5	4.1 (Tableau 1)
Erreur de concentricité entre le cœur et la gaine	μm	≤ 6	
Non-circularité du cœur	%	≤ 6	4.1
Diamètre du revêtement primaire – incolore	μm	245 ± 10	4.1
Diamètre du revêtement primaire – coloré	μm	250 ± 15	4.1
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	μm	$\leq 12,5$	4.1
Longueur	km	(voir 4.1)	4.1 (Tableau 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

Attribut	Unité	Limite	Référence
Niveau de contrainte d'essai	GPa	$\geq 0,69^{\text{SS}}$	4.2
Force de dénudage moyenne ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{moy}} \leq 5,0$	4.2
Force de dénudage crête ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{crête}} \leq 8,9$	4.2

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

Attribut	Unité	Limite	Référence
Affaiblissement linéique maximal à 850 nm ^a	dB/km	3,5 à 7,0	
Affaiblissement linéique maximal à 1 300 nm ^a	dB/km	1,5 à 4,5	
Largeur de bande modale minimale à 850 nm ^a	MHz·km	10 à 200	
^a Largeur de bande modale minimale à 1 300 nm	MHz·km	100 à 300	
Ouverture numérique	Sans dimension	$0,26 \pm 0,03$ ou $0,29 \pm 0,03$	4.3 (Tableau 6)
Pertes maximales dues aux macrocourbures	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 $\leq 0,000\,5 (1\,575 - \lambda_0)$ ^b	
^a La colonne «Limites» forme une plage de valeurs qui peuvent être spécifiées.			
^b Le cas le plus défavorable pour le coefficient de dispersion chromatique à 850 nm ($S_0 = 0,105 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ à $\lambda_0 = 1\,365 \text{ nm}$) est de $-126 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$.			

C.5 Exigences environnementales

Les exigences de 4.4 doivent être satisfaites.

Annexe D (normative)

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

D.1 Exigences de DMD pour les fibres A1a.2

D.1.1 Généralités

Les fibres de type A1a.2 choisies en utilisant la méthode du masque de DMD doivent satisfaire aux exigences de D.1.2 et D.1.3. Les limites radiales, $R_{\text{INTERIEUR}}$ et $R_{\text{EXTERIEUR}}$, ont été établies pour les émetteurs conformes aux exigences de l'Article E.2.

Voir l'Annexe E pour toute information concernant la largeur de bande modale effective (EMB).

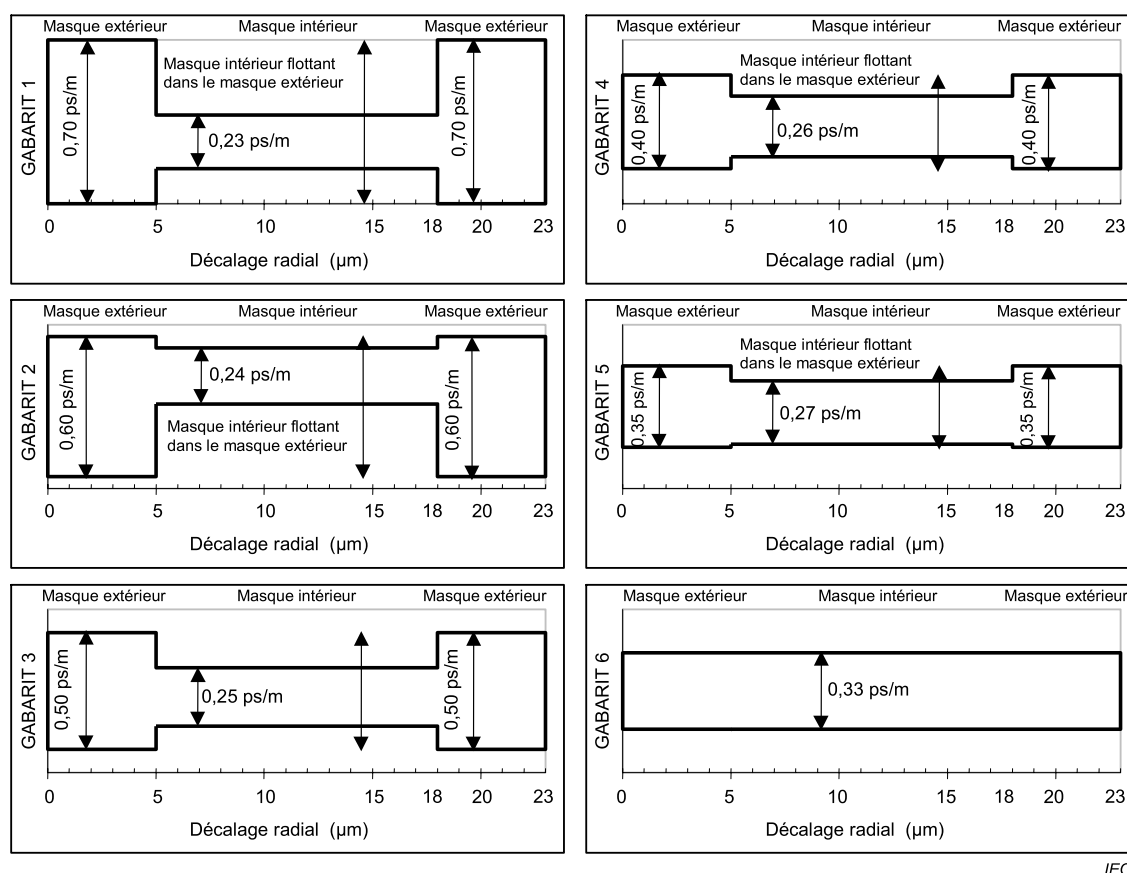
D.1.2 Gabarits de DMD

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

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

Numéro du gabarit	Masque intérieur de DMD (ps/m) pour $R_{\text{INTERIEUR}} = 5 \mu\text{m}$ à $R_{\text{EXTERIEUR}} = 18 \mu\text{m}$	Masque extérieur de DMD (ps/m) pour $R_{\text{INTERIEUR}} = 0 \mu\text{m}$ à $R_{\text{EXTERIEUR}} = 23 \mu\text{m}$
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 l'IEC 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

Figure D.1 – Exigences des gabarits 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, ce qui améliore 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».

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

L'utilisation d'un gabarit 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 sur la structure modale excitée à des rayons de faible valeur. La limitation concernant le flux inscrit de l'émetteur au rayon de 19 μm assure que très peu d'énergie est transportée par les modes de plus haut niveau de la fibre, ce qui permet une tolérance relâchée sur la structure modale excitée à des rayons élevés.

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	$R_{\text{INTERIEUR}}$ μm	$R_{\text{EXTERIEUR}}$ 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 réussissant cette sélection ont une interférence inter-symbole plus faible que celles qui ne la réussissent pas.

D.2 Exigences d'EMB_c des fibres A1a.2

D.2.1 Généralités

Les fibres de type A1a.2 choisies à l'aide de 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 de l'EMB_c (minEMB_c) dans cet ensemble doit satisfaire à l'exigence de l'Equation D.1:

$$\text{EMB}_c \text{ minimale} \geq 1\,770 \text{ MHz}\cdot\text{km} \quad (\text{D.1})$$

où

la valeur minimale de l'EMB_c est déterminée à partir de la fonction de transfert complexe décrite dans l'IEC 60793-1-49, au moyen des pondérations définies au Tableau D.3.

NOTE 1 La valeur minimale de l'EMB_c est un paramètre de fibre dont la valeur peut ne pas être optimale pour être utilisé dans les modèles de système. Voir l'Annexe E pour toute information concernant le paramètre système correspondant appelé largeur de bande modale effective (EMB).

NOTE 2 Voir l'Annexe F pour toute explication supplémentaire de la nomenclature des largeurs 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 celles 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 DMD (1 sur 2)

Position radiale	ID laser				
r (μm)	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0
1	0,033 023	0,023 504	0	0	0
2	0,262 463	0,188 044	0	0	0
3	0,884 923	0,634 634	0	0	0
4	2,009 102	1,447 235	0,007 414	0,005 637	0,003 034
5	3,231 216	2,376 616	0,072 928	0,055 488	0,029 856
6	3,961 956	3,052 908	0,262 906	0,200 05	0,107 634
7	3,694 686	3,150 634	0,637 117	0,483 667	0,258 329
8	2,644 369	2,732 324	1,197 628	0,896 95	0,458 494
9	1,397 552	2,060 241	1,916 841	1,402 833	0,661 247
10	0,511 827	1,388 339	2,755 231	1,957 805	0,826 035
11	0,110 549	0,834 722	3,514 797	2,433 247	1,000 204
12	0,004 097	0,419 715	3,883 317	2,639 299	1,294 439
13	0,000 048	0,160 282	3,561 955	2,397 238	1,813 982
14	0,001 111	0,047 143	2,617 093	1,816 953	2,506 95
15	0,005 094	0,044 691	1,480 325	1,296 977	3,164 213
16	0,013 918	0,116 152	0,593 724	1,240 553	3,572 113
17	0,026 32	0,219 802	0,153 006	1,700 02	3,618 037
18	0,036 799	0,307 088	0,012 051	2,240 664	3,329 662
19	0,039 465	0,329 314	0	2,394 077	2,745 395
20	0,032 152	0,268 541	0	1,952 429	1,953 241
21	0,019 992	0,166 97	0	1,213 833	1,137 762
22	0,008 832	0,073 514	0	0,534 474	0,494 404
23	0,002 612	0,021 793	0	0,158 314	0,146 517
24	0,000 282	0,002 679	0	0,019 738	0,018 328
25	0	0	0	0	0

Tableau D.3 (2 sur 2)

Position radiale	ID laser				
r (μm)	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0
1	0,015 199	0,016 253	0,022 057	0,010 43	0,015 681
2	0,120 91	0,129 011	0,176 39	0,083 496	0,124 978
3	0,407 702	0,434 844	0,595 248	0,281 802	0,421 548
4	0,925 664	0,987 184	1,351 845	0,650 28	0,957 203
5	1,488 762	1,587 6	2,174 399	1,130 599	1,539 535
6	1,825 448	1,94 661 4	2,666 278	1,627 046	1,887 747
7	1,702 306	1,815 285	2,486 564	2,044 326	1,762 955
8	1,218 378	1,299 241	1,780 897	2,291 72	1,292 184
9	0,643 911	0,686 635	0,945 412	2,280 813	0,790 844
10	0,238 557	0,255 85	0,360 494	1,937 545	0,559 38
11	0,098 956	0,131 429	0,163 923	1,383 006	0,673 655
12	0,204 274	0,327 091	0,318 712	0,878 798	1,047 689
13	0,529 982	0,848 323	0,778 983	0,679 756	1,589 037
14	1,024 948	1,567 513	1,383 174	0,812 36	2,138 626
15	1,611 695	2,224 027	1,853 992	1,074 702	2,470 827
16	2,210 689	2,555 06	1,914 123	1,257 323	2,361 764
17	2,707 415	2,464 566	1,511 827	1,255 967	1,798 213
18	2,938 8	2,087 879	0,908 33	1,112 456	1,059 264
19	2,739 32	1,577 111	0,386 991	0,879 309	0,444 481
20	2,090 874	1,056 343	0,111 76	0,608 183	0,123 304
21	1,261 564	0,595 102	0,014 829	0,348 921	0,012 552
22	0,552 14	0,256 718	0,001 818	0,151 12	0
23	0,163 627	0,076 096	0,000 54	0,044 757	0
24	0,020 443	0,009 446	0	0,005 639	0
25	0	0	0	0	0

D.3 Exigences de DMD des fibres A1a.3

D.3.1 Généralités

Les fibres de type A1a.3 choisies par la méthode du masque de DMD doivent satisfaire aux exigences de D.3.2 et D.3.3. Voir les informations liées à l'Article D.1. Les limites radiales, $R_{\text{INTERIEUR}}$ et $R_{\text{EXTERIEUR}}$, ont été établies pour les émetteurs conformes aux exigences de l'Article E.2.

Voir l'Annexe E pour toute information concernant la largeur de bande modale effective (EMB).

D.3.2 Gabarits de DMD

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

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

Numéro du gabarit	Masque intérieur de DMD (ps/m) pour $R_{\text{INTERIEUR}} = 5 \mu\text{m}$ à $R_{\text{EXTERIEUR}} = 18 \mu\text{m}$	Masque extérieur de DMD (ps/m) pour $R_{\text{INTERIEUR}} = 0 \mu\text{m}$ à $R_{\text{EXTERIEUR}} = 23 \mu\text{m}$
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 l'IEC 60793-1-49.

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

Numéro d'intervalle	$R_{\text{INTERIEUR}} \mu\text{m}$	$R_{\text{EXTERIEUR}} \mu\text{m}$
1	7	13
2	9	15
3	11	17
4	13	19

D.4 Exigences relatives à l'EMB_c des fibres A1a.3

D.4.1 Généralités

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

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 de l'EMB_c (minEMB_c) dans cet ensemble doit satisfaire à l'exigence de l'Equation D.2:

$$\text{EMB}_c \text{ minimale} \geq 4 \, 160 \, \text{MHz} \cdot \text{km} \quad (\text{D.2})$$

où

la valeur minimale de l'EMB_c est déterminée à partir de la fonction de transfert complexe décrite dans l'IEC 60793-1-49, au moyen des 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 l'IEC 60793-1-49 permet de placer une limite plus faible sur la plage 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. L'IEC 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.

On peut assurer un produit longueur-largeur de bande modale minimal 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 flux inscrit (EF) et de longueur d'onde centrale pour l'émetteur

E.2.1 Flux inscrit

Les limites radiales de DMD des masques intérieurs, extérieurs et d'intervalles spécifiés aux Articles D.1 et D.3, et les pondérations de DMD spécifiées aux Articles 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 prévue pour les conditions d'injection à l'extérieur de cette plage n'a pas été déterminée, mais elle sera inférieure à celle prévue pour les conditions d'injection dans cette plage.

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

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

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

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent 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 de réduire la largeur de bande modale lorsque l'émetteur ne fonctionne pas à 850 nm [6]. Voir le document 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 l'IEC 61280-1-3 [16].

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

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

E.3 EMB

Au cours du développement du type de fibre A1a.2, une simulation de Monte-Carlo détaillée 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 E.2 [1 à 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) excédant 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 appliquées aux 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 effectué 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.

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

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

Les fibres qui satisfont aux exigences des Articles D.3 et D.4 (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 des fibres 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.

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

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

Annexe F (informative)

Explication de la nomenclature des largeurs 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 la nomenclature des largeurs de bande

Nom du paramètre et abréviation	Description du paramètre
Largeur de bande modale effective calculée (EMBc)	La largeur de bande modale calculée résultant d'une pondération particulière d'un DMD particulier.
Largeur de bande modale effective calculée minimale (EMBc minimale) ou (min EMBc)	La largeur de bande modale calculée minimale résultant d'un ensemble particulier de pondérations d'un DMD particulier.
Largeur de bande modale effective (EMB)	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 utilisé pour les émetteurs conformes à l'Article E.2.

Annexe G (informative)

Indications préliminaires pour les éléments qui nécessitent une étude supplémentaire

G.1 Largeur de bande modale effective (EMB) à 1 300 nm

Les propriétés de dispersion chromatique permettent de transformer le DMD mesuré à une longueur d'onde en DMD à une autre longueur d'onde. Ainsi, le DMD à 850 nm peut être utilisé pour prévoir le produit longueur-largeur de bande modale effective minimale à 1 300 nm. Une analyse préliminaire d'ingénierie indique que les fibres qui satisfont aux exigences de l'Annexe D pour une $EMB \geq 2\,000\text{ MHz}\cdot\text{km}$ à 850 nm donneront également une $EMB \geq 500\text{ MHz}\cdot\text{km}$ à 1 300 nm.

Certains émetteurs à laser à 1 300 nm sont définis pour fonctionner à la fois avec des fibres multimodales et des fibres unimodales. Pour mieux assurer que les fibres multimodales, avec les performances de largeur de bande spécifiées uniquement sur la base des conditions d'injection saturée, délivrent au moins leur produit longueur-largeur de bande saturée minimale pour les émetteurs à 1 300 nm conçus pour injecter dans une fibre unimodale (par exemple 1000BASE-LX), l'IEEE 802.3 spécifie l'utilisation des cordons de connexion de conditionnement de mode à injection à décalage lorsque l'on connecte de tels émetteurs à ce type de fibre multimodale.

L'injection décalée est mise en œuvre en connectant une fibre unimodale à une fibre multimodale à l'intérieur d'un cordon de connexion en utilisant une gamme spécifiée de décalage radial unimodal-multimodal. En injectant de manière très décalée du centre de la fibre unimodale dans la fibre multimodale, on excite de nombreux modes et on produit une distribution de puissance de mode plus proche de celle d'une injection saturée que de celle de l'injection native qui, normalement, n'excite fortement que les modes d'ordre de faible niveau.

Étant donné que les mesures de largeur de bande à injection saturée sont fortement dominées par le comportement de mode de niveau élevé, elles ne sont pas sensibles au comportement des modes d'ordre de faible niveau. C'est la raison pour laquelle, si l'on évite une forte excitation des modes de faible niveau, le cordon de connexion à injection décalée élimine la dépendance par rapport au comportement de ces modes à caractéristiques pauvres, et améliore la corrélation entre la largeur de bande minimale du système et la mesure de la taille de la largeur de bande en injection saturée.

Cependant, étant donné que la procédure d'essai du DMD mesure le comportement de mode de faible niveau, elle est capable de circonscrire la limite inférieure du produit largeur de bande-distance pour les injections natives de ces émetteurs à 1 300 nm. Les fibres satisfaisant aux spécifications A1a.2 et A1a.3 sont optimisées pour la largeur de bande de crête à 850 nm et possèdent un DMD de mode de faible niveau limité de manière spécifique.

Le fait de fonctionner à des longueurs d'onde différentes de la longueur d'onde de crête introduit une augmentation systématique du DMD. L'augmentation la plus importante du DMD intervient pour les modes d'ordre les plus élevés. Ainsi, la largeur de bande saturée, qui est dominée par le DMD de mode de niveau élevé, est un indicateur prudent de la largeur de bande modale effective la plus faible pour les injections à 1 300 nm natives qui concentrent la puissance dans les modes de faible niveau. C'est la raison pour laquelle on s'attend à ce que les fibres A1a.2 et A1a.3 fournissent une EMB au moins aussi élevée que leur produit longueur-largeur de bande saturée minimale de $500\text{ MHz}\cdot\text{km}$ à 1 300 nm, sans l'utilisation de cordons de connexion de conditionnement de mode.

G.2 Graduation de l'EMB avec le DMD

Des produits différents de longueur-largeur de bande modale effective peuvent être déduits des gabarits et des masques d'intervalle définis aux Articles D.1 et D.3 simplement en graduant l'EMB de manière inversement proportionnelle à la largeur temporelle du DMD, si les trois conditions suivantes sont remplies:

- 1) la fibre est utilisée avec des émetteurs satisfaisant aux spécifications de l'Article E.2,
- 2) les limites de décalage radial des gabarits ne sont pas modifiées,
- 3) les exigences de produit longueur-largeur de bande modale saturée sont graduées de manière directement proportionnelle à l'EMB.

La capacité de graduation est justifiée par les relations suivantes. Selon la théorie des guides d'ondes, la distribution de puissance de modes de l'émetteur est en correspondance directe avec les étendues radiales des masques de DMD intérieur et extérieur. La plage de longueurs d'onde de fonctionnement oblige le fonctionnement à forte proximité de la longueur d'onde de mesure nominale de DMD pour réduire les variations de largeur de bande modale dues à la longueur d'onde. La distribution de puissance de mode et l'étendue radiale des masques de DMD étant fixées, et la plage de longueurs d'onde de fonctionnement étant inchangée, la graduation est supportée par la proportionnalité inverse entre la largeur d'impulsion efficace et la largeur de bande². Dans ce cas, la largeur d'impulsion en valeur efficace est égale à la largeur temporelle du DMD. La graduation de la largeur de bande saturée directement proportionnelle à l'EMB désirée maintient la proportionnalité établie entre le DMD et la largeur de bande saturée.

Par exemple, un produit longueur-largeur de bande modale effective à 850 nm $\geq$ 1 000 MHz·km (moitié de 2 000 MHz·km) peut être équipé de fibres satisfaisant à l'un des six gabarits de DMD de l'Article D.1, chacun avec le double de la largeur temporelle de DMD à la fois pour le masque intérieur et pour le masque extérieur, et un produit longueur-largeur de bande saturée $\geq$ 750 MHz·km.

² [Smith et Personick, 1982; Brown, 1992]

Annexe H (informative)

Applications supportées par les fibres de catégorie A1

H.1 Applications normalisées au niveau international

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

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

Application	Source	Nom
10BASE-F	ISO/IEC/IEEE 8802-3	FO CSMA/CD
100BASE-FX	IEEE 802.3	Ethernet rapide
1000BASE-SX	IEEE 802.3	Gigabit Ethernet
1000BASE-LX	IEEE 802.3	Gigabit Ethernet
Anneau à jeton	ISO/IEC 8802-5	Ajout de station FO
FDDI	ISO/IEC 9314-3	PMD Interface de données distribuées sur fibres
LCF FDDI	ISO/IEC 9314-9	PMD Fibre faible coût
HIPPI	ISO/IEC 11518-1	Haute Performance. I/F parallèle
FC	ISO/IEC 14165-115 ISO/IEC 14165-116	Canal de fibre
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	Ethernet 10 gigabits
10GBASE-LX4	IEEE 802.3	Ethernet 10 gigabits
10GBASE-LRM	IEEE 802.3	Ethernet 10 gigabits
40GBASE-SR4	IEEE 802.3	Ethernet 40 gigabits
100GBASE-SR10	IEEE 802.3	Ethernet 100 gigabits
100GBASE-SR4	IEEE 802.3	Ethernet 100 gigabits

H.2 Spécifications de largeurs de bande à usage commercial

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

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

Type de fibre	Largeur de bande modale minimale pour la condition OFL ^a (sauf indication contraire) à 850 nm (MHz·km)	Largeur de bande modale minimale pour la condition OFL ^a (sauf indication contraire) à 1 300 nm (MHz·km)	Zone d'application possible
A1a.1	500	500	Débit binaire moyen/moyenne distance
A1a.2	1 500 2 000 EMB ^b	500	Débit binaire très élevé (10 Gbit/s) / longue distance; 850 nm optimisé
A1a.3	3 500 4 700 EMB ^b	500	Débit binaire très élevé (≥ 10 Gbit/s) / longue distance; 850 nm optimisé
A1b	200	500	Débit binaire moyen/moyenne distance
^a OFL = Injection saturée			
^b EMB = Largeur de bande modale effective (voir Annexes D, E, F et G)			

H.3 Correspondances entre les types de fibres décrits dans la présente norme et dans l'ISO/IEC 11801

La présente norme spécifie les types de fibres A1a.1 et A1b avec un diamètre de cœur selon les catégories de performances des types de fibres optiques câblées OM1 et OM2 spécifiées dans l'ISO/IEC 11801, avec une plage de diamètres de cœur et une cellule de largeur de bande spécifique. Les exigences de la présente norme pour le type A1a.2 et celles de l'ISO/IEC 11801 pour OM3 sont identiques. Les exigences de la présente norme pour le type A1a.3 et celles de l'ISO/IEC 11801 pour OM4 sont prévues d'être identiques lorsque l'ISO/IEC 11801 sera mise à jour. La correspondance est donnée au Tableau H.3.

Tableau H.3 – Correspondance entre la présente norme et l'ISO/IEC 11801

Attribut	IEC 60793-2-10				ISO/IEC 11801					
Type IEC et désignation ISO/IEC	A1b	A1a.1	A1a.2	A1a.3	OM1		OM2		OM3	OM4
Diamètre du cœur (μm)	62,5	50	50	50	50	62,5	50	62,5	50	50
Correspondance des types de fibres IEC	-	-	-	-	A1a.1	A1b	A1a.1	A1b	A1a.2	A1a.3
Produit longueur-largeur de bande modale minimale pour injection saturée à 850 nm (MHz·km)	200	500	1 500	3 500	200		500		1 500	3 500
Produit longueur-largeur de bande modale minimale pour injection saturée à 1 300 nm (MHz·km)	500	500	500	500	500		500		500	500
Produit longueur-largeur de bande modale minimale effective à 850 nm (MHz·km)	Non spécifié	Non spécifié	2 000	4 700	Non spécifié		Non spécifié		2 000	4 700

H.4 Documents de référence

Les documents de référence figurent dans la bibliographie.

Annexe I (informative)

Applications Ethernet 1 gigabit, 10 gigabits, 40 gigabits et 100 gigabits

L'Annexe I se propose de donner un aperçu des exigences relatives aux fibres de type A1a et A1b, ainsi que des capacités de transmission correspondantes pour les normes d'application Ethernet 1 gigabit, 10 gigabits, 40 gigabits et 100 gigabits qui font l'objet d'études dans le cadre de l'IEEE 802.3. Toutes les applications Ethernet à 1 Gbit/s ou plus sont considérées comme des applications «d'injection laser».

Le Tableau I.1 donne un aperçu des exigences et des capacités de l'Ethernet 1 Gbit/s, 10 Gbit/s, 40 Gbit/s et 100 Gbit/s. Le Tableau I.1 est divisé en lignes en fonction du type de fibre et du débit binaire. Pour chaque poste, il existe une indication de la longueur de la liaison de l'application et des exigences concernant les caractéristiques d'injection de l'émetteur. Les exigences des caractéristiques d'injection de l'émetteur sont des trois types décrits ci-dessous:

- Cordon de connexion à conditionnement de mode à injection à décalage pour fonctionnement à 1 300 nm, comme défini dans l'IEEE 802.3.
- Rapport de puissance couplé (CPR) > 9 dB et soin d'éviter l'injection saturée radiale (ROFL) pour le fonctionnement en 1 Gbit/s à 850 nm sur les fibres caractérisées seulement par la largeur de bande d'injection saturée (OFL). Le rapport de puissance couplé est défini dans l'IEC 61280-4-1. L'injection saturée radiale est définie dans l'IEEE 802.3.
- Exigences de flux inscrit (EF) pour fonctionnement en 10 Gbit/s, 40 Gbit/s et 100 Gbit/s 850 nm sur types de fibres A1a.2 et A1a.3, avec largeur de bande modale effective assurée par la mesure de DMD. Les exigences EF sont les suivantes: EF à un rayon de $4,5 \mu\text{m} \leq 30 \%$, et EF à un rayon de $19,0 \mu\text{m} \geq 86 \%$. Pour les mesures d'EF, voir l'IEC 61280-1-4.

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 (1 sur 3)

Type de fibre	Débit binaire Gbit/s	Longueur d'onde nominale									
		850 nm					1 300 nm				
		Largeur de bande modale minimale pour condition d'injection de mesure indiquée MHz·km	Largeur de bande modale minimale effective pour émetteurs satisfaisant à l'exigence d'injection MHz·km	IEEE 802.3 PMD ^a	Exigence d'injection de l'émetteur	Longueur de liaison m	Largeur de bande modale minimale pour condition d'injection de mesure indiquée MHz·km	Largeur de bande modale minimale effective pour émetteurs satisfaisant à l'exigence d'injection MHz·km	IEEE 802.3 PMD ^a	Exigence d'injection de l'émetteur	Longueur de liaison m
A1b	1	160 pour l'OFL	n.s.	1000BASE-SX	CPR > 9 dB, éviter ROFL	220	500 pour l'OFL	n.s.	1000BASE-LX	Cordon de connexion à injection à décalage	550
A1b	1	200 pour l'OFL	n.s.	1000BASE-SX	CPR > 9 dB, éviter ROFL	275	500 pour l'OFL	n.s.	1000BASE-LX	Cordon de connexion à injection à décalage	550
A1b	10	160 pour l'OFL	n.s.	10GBASE-S	EF à un rayon de 4,5 µm ≤ 30 %, EF à un rayon de 19,0 µm ≥ 86 %	26	500 pour l'OFL	n.s.	10GBASE-LX4	Cordon de connexion à injection à décalage	300
A1b	10	200 pour l'OFL	n.s.	10GBASE-S	EF à un rayon de 4,5 mm ≤ 30 %, EF à un rayon de 19,0 µm ≥ 86 %	33	500 pour l'OFL	n.s.	10GBASE-LX4	Cordon de connexion à injection à décalage	300
A1b	10	160 pour l'OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	500 pour l'OFL	n.s.	10GBASE-LRM	Cordon de connexion à injection à décalage ou EF à un rayon de 5 µm ≥ 30 %, EF à un rayon de 11 µm ≥ 81 %	220
A1b	10	200 pour l'OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	500 pour l'OFL	n.s.	10GBASE-LRM	Cordon de connexion à injection à décalage ou EF à un rayon de 5 µm ≥ 30 %, EF à un rayon de 11 µm ≥ 81 %	220
A1a.1	1	400 pour l'OFL	n.s.	1000BASE-SX	CPR > 9 dB, éviter ROFL	500	400 pour l'OFL	n.s.	1000BASE-LX	Cordon de connexion à injection à décalage	550

Type de fibre	Débit binaire Gbit/s	Longueur d'onde nominale									
		850 nm					1 300 nm				
		Largeur de bande modale minimale pour condition d'injection de mesure indiquée MHz·km	Largeur de bande modale minimale effective pour émetteurs satisfaisant à l'exigence d'injection MHz·km	IEEE 802.3 PMD ^a	Exigence d'injection de l'émetteur	Longueur de liaison m	Largeur de bande modale minimale pour condition d'injection de mesure indiquée MHz·km	Largeur de bande modale minimale effective pour émetteurs satisfaisant à l'exigence d'injection MHz·km	IEEE 802.3 PMD ^a	Exigence d'injection de l'émetteur	Longueur de liaison m
A1a.1	1	500 pour l'OFL	n.s.	1000BASE-SX	CPR > 9 dB, éviter ROFL	550	500 pour l'OFL	n.s.	1000BASE-LX	Cordon de connexion à injection à décalage	550
A1a.1	10	400 pour l'OFL	n.s.	10GBASE-S	EF à un rayon de 4,5 mm ≤ 30 %, EF à un rayon de 19,0 µm ≥ 86 %	66	400 pour l'OFL	n.s.	10GBASE-LX4	Cordon de connexion à injection à décalage	240
A1a.1	10	500 pour l'OFL	n.s.	10GBASE-S	EF à un rayon de 4,5 µm ≤ 30 %, EF à un rayon de 19,0 µm ≥ 86 %	82	500 pour l'OFL	n.s.	10GBASE-LX4	Cordon de connexion à injection à décalage	300
A1a.1	10	400 pour l'OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	500 pour l'OFL	n.s.	10GBASE-LRM	Cordon de connexion à injection à décalage ou EF à un rayon de 5 µm ≥ 30 %, EF à un rayon de 11 µm ≥ 81 %	100
A1a.1	10	500 pour l'OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	500 pour l'OFL	n.s.	10GBASE-LRM	Cordon de connexion à injection à décalage ou EF à un rayon de 5 µm ≥ 30 %, EF à un rayon de 11 µm ≥ 81 %	220
A1a.2	10	1 500 pour OFL	2 000	10GBASE-S	EF à un rayon de 4,5 µm ≤ 30 %, EF à un rayon de 19,0 µm ≥ 86 %	300	500 pour l'OFL	n.s.	10GBASE-LX4	Cordon de connexion à injection à décalage	300
A1a.2	10	1 500 pour OFL	2 000	n.s.	n.s.	n.s.	500 pour l'OFL	n.s.	10GBASE-LRM	EF à un rayon de 5 µm ≥ 30 %, EF à un rayon de 11 µm ≥ 81 %	220

Type de fibre	Débit binaire Gbit/s	Longueur d'onde nominale									
		850 nm					1 300 nm				
		Largeur de bande modale minimale pour condition d'injection de mesure indiquée MHz·km	Largeur de bande modale minimale effective pour émetteurs satisfaisant à l'exigence d'injection MHz·km	IEEE 802.3 PMD ^a	Exigence d'injection de l'émetteur	Longueur de liaison m	Largeur de bande modale minimale pour condition d'injection de mesure indiquée MHz·km	Largeur de bande modale minimale effective pour émetteurs satisfaisant à l'exigence d'injection MHz·km	IEEE 802.3 PMD ^a	Exigence d'injection de l'émetteur	Longueur de liaison m
A1a.2	40	1 500 pour OFL	2 000	40GBASE-SR4	EF à un rayon de 4,5 µm ≤ 30 %, EF à un rayon de 19,0 µm ≥ 86 %	100	500 pour l'OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A1a.2	100	1 500 pour OFL	2 000	100GBASE-SR10	EF à un rayon de 4,5 µm ≤ 30 %, EF à un rayon de 19,0 µm ≥ 86 %	100	500 pour l'OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A1a.2	100	1 500 pour OFL	2 000	100GBASE-SR4	EF à un rayon de 4,5 µm ≤ 30 %, EF à un rayon de 19,0 µm ≥ 86 %	70	500 pour l'OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A1a.3	10	3 500 for OFL	4 700	10BASE-S	EF à un rayon de 4,5 µm ≤ 30 %, EF à un rayon de 19,0 µm ≥ 86 %	400	500 pour l'OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A1a.3	40	3 500 for OFL	4 700	40GBASE-SR4	EF à un rayon de 4,5 µm ≤ 30 %, EF à un rayon de 19,0 µm ≥ 86 %	150	500 pour l'OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A1a.3	100	3 500 for OFL	4 700	100GBASE-SR10	EF à un rayon de 4,5 µm ≤ 30 %, EF à un rayon de 19,0 µm ≥ 86 %	150	500 pour l'OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A1a.3	100	3 500 for OFL	4 700	100GBASE-SR4	EF à un rayon de 4,5 µm ≤ 30 %, EF à un rayon de 19,0 µm ≥ 86 %	100	500 pour l'OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
n.s. = non spécifié											
^a PMD = Physical Medium Dependent, nomenclature IEEE 802.3 pour un dispositif, comme un émetteur-récepteur, qui relie au milieu de transmission.											

Bibliographie

- [1] J. Ritger, J. Abbott, livre blanc «New Delay Set for TIA Modelling», 1^{er} juin 2001, disponible sur <http://www.tiaonline.org/> (disponible en anglais seulement)
- [2] J. Ritger, J. Abbott, «Fiber Delays for 10 Gb Risk Assessment», Présentation au FO2.2.1, 25 juin 2001, disponible sur <http://www.tiaonline.org/> (disponible en anglais seulement)
- [3] P. Kolesar, «Source Characteristics Development», Présentation au FO2.2.1, juin 2001, disponible sur <http://www.tiaonline.org/> (disponible en anglais seulement)
- [4] S. Golowich, J. Ritger, P. Kolesar, «Simulation of 50 m 10 Gb Links», Présentation au FO2.2.1, 25 juin 2001, disponible sur <http://www.tiaonline.org/> (disponible en anglais seulement)
- [5] S. Golowich, P. Kolesar, J. Ritger, G. Giaretta, «Modelling, Simulation, and Experimental Study of a 50µm Multimode Fiber 10 Gbaud Serial Link», Présentation à l'IEEE 802.3ae, mai 2000 (disponible en anglais seulement).
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», Présentation au FO2.2.1, 25 juin 2001, disponible sur <http://www.tiaonline.org/> (disponible en anglais seulement)
- [7] S. Golowich, P. Kolesar, J. Ritger, P. Pepeljugoski, «Modelling and Simulations for 10 Gb Multimode Optical Fiber Link Component Specifications», OFC 2001, article WDD57 (disponible en anglais seulement)
- [8] P. Pepeljugoski, S. Golowich, «Measurements and simulations of intersymbol interference penalty in new high speed 50 µm multimode fiber links operating at 10 Gb/s», OFC 2001, article WDD40 (disponible en anglais seulement)
- [9] J. Ritger, «Use of Differential Mode Delay in Qualifying Multi-Mode Optical Fiber for 10 Gbps Operation», OFMC 2001 (disponible en anglais seulement)
- [10] M. Hackert, «FO2.2.1 Update», séance plénière IEEE, mars 2001 (disponible en anglais seulement).
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 µm Multimode Fiber for Multi-gigabit Short Wavelength LANs», J. Lightwave Tech. (volume 21, n° 5, pp. 1256 – 1275, mai 2003) (disponible en anglais seulement)
- [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, n° 5, pp. 1242 – 1255, mai 2003) (disponible en anglais seulement)
- [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> (disponible en anglais seulement)
- [14] TIA TSB-172, *High Data Rate Multimode Fiber Transmission Techniques* (disponible en anglais seulement)

- [15] IEC 61280-1-4, *Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques – Partie 1-4: Sous-systèmes généraux de télécommunication – Méthode de mesure du flux inscrit de la source lumineuse*
- [16] IEC 61280-1-3, *Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques – Partie 1-3: Sous-systèmes généraux de télécommunication – Mesure de la longueur d'onde centrale et de la largeur spectrale*
- [17] C. Caspar, R. Freund, F. Achten, A. Gholami, G. Kuyt, P. Matthijsse et D. Molin «Impact of Transceiver Characteristics on the Performance of 10 GbE Links Applying OM-4 Multimode Fibers», Conclusions de la 57^e conférence IWCS, pp. 295-303, novembre 2008 (disponible en anglais seulement)
- [18] A. Sengupta, «Simulation of 10GbE Multimode Optical Communications Systems», Conclusions de la 57^e conférence IWCS, pp. 320-326, novembre 2008 (disponible en anglais seulement)
- [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», Conclusions de la 57^e conférence IWCS, pp. 327-334, novembre 2008 (disponible en anglais seulement)
- [20] IEEE 802.3, *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications*, Article 52 concernant 10GBASE-S (disponible en anglais seulement)
- [21] ANSI INCITS 364-2003, *Fibre Channel – 10 Gigabit (10GFC)* (disponible en anglais seulement)
- [22] INCITS/Projet 1647-D/Rév. 8.00, *Fibre Channel – Physical Interface-4 (FC-PI-4)*, pour 400-SN (4 gigabits), 800-SN et 800-SA (8 gigabits) (disponible en anglais seulement)
- [23] IEC 60793-1-1, *Fibres optiques – Partie 1-1: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Généralités et lignes directrices*

Références non-numérotées

IEC 60794-1-1, *Optical fibre cables - Part 1-1: Generic specification – General* (disponible en anglais seulement)

IEC TR 62048, *Optical fibres – Reliability – Power law theory* (disponible en anglais seulement)

Documents de référence (voir l'Article H.4)

ATM af-phy-0062.000 155.52 Mbps Physical Layer Interface Specification for Short Wavelength Laser, juillet 1996 (disponible en anglais seulement)

ATM af-phy-0046.000 622.08 Mbps Physical Layer Specification, janvier 1996 (disponible en anglais seulement)

ISO/IEC/IEEE 8802-3, *Standard for Ethernet* (disponible en anglais seulement)

ISO/IEC 9314-3, *Information processing systems – Fibre Distributed Data Interface (FDDI) – Part 3: Physical Layer Medium Dependent (PMD)* (disponible en anglais seulement)

ISO/IEC 9314-9, *Information technology – Fibre Distributed Data Interface (FDDI) – Part 9, Low cost fibre physical layer medium dependent (LCF-PMD)* (disponible en anglais seulement)

ISO/IEC 8802-5, *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* (disponible en anglais seulement)

ISO/IEC 11518-1, *Information technology – High-Performance Parallel Interface – Part 1: Mechanical, electrical and signalling protocol specification (HIPPI-PH)* (disponible en anglais seulement)

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

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch