

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 © 2017 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 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 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 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 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 978-2-8322-4627-6

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	8
4 Abbreviated terms	8
5 Specifications	9
5.1 General.....	9
5.2 Dimensional requirements.....	9
5.3 Mechanical requirements	10
5.4 Transmission requirements	11
5.5 Environmental requirements	13
5.5.1 General	13
5.5.2 Mechanical environmental requirements (common to all fibres in category A1).....	14
5.5.3 Transmission environmental requirements.....	14
Annex A (normative) Specifications for sub-category 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) Specifications for sub-category 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) Specifications for sub-category 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), calculated effective modal bandwidth (EMB_C) and calculated overfilled modal bandwidth (OMB_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
D.5	A1a.4 fibre modal bandwidth requirements	28
D.5.1	General	28
D.5.2	Calculated effective modal bandwidth	28
D.5.3	Calculated overfilled modal bandwidth	29
Annex E (informative)	System, modal bandwidth, and transmitter considerations	30
E.1	Background	30
E.2	System considerations	30
E.2.1	A1a.2 and A1a.3 fibres	30
E.2.2	A1a.4 fibre	30
E.3	Effective modal bandwidth (EMB)	31
E.4	Transmitter encircled flux (EF) and centre wavelength requirements	32
E.4.1	Encircled flux	32
E.4.2	Centre wavelength for A1a.2 and A1a.3 fibres	33
E.4.3	Centre wavelength for A1a.4 fibre	33
Annex F (informative)	Bandwidth nomenclature explanation	34
Annex G (informative)	Preliminary indications for items needing further study	35
G.1	Effective modal bandwidth (EMB) at 1 300 nm	35
G.2	Scaling of EMB with DMD	35
Annex H (informative)	Applications and cabling categories supported by A1 fibres	37
H.1	Standardised applications	37
H.2	Cross reference of cabled optical fibre performance categories in ISO/IEC 11801-1 to fibres of this document	37
Annex I (informative)	1-Gigabit, 10-Gigabit, 25-Gigabit, 40-Gigabit and 100-Gigabit Ethernet applications	39
Bibliography		44
Figure 1	– Relation between bandwidths at 850 nm and 1 300 nm	13
Figure D.1	– DMD template requirements	24
Figure E.1	– Estimated minimum wide band EMB versus wavelength	32
Figure E.2	– Approximate position of DMD weightings relative to the EF boundaries of Equations (E.6) and (E.7)	33
Table 1	– Dimensional attributes and measurement methods	9
Table 2	– Dimensional requirements common to category A1 fibres	10
Table 3	– Additional dimensional attributes required in sub-category specifications	10
Table 4	– Mechanical attributes and measurement methods	10
Table 5	– Mechanical requirements common to category A1 fibres	11
Table 6	– Transmission attributes and measurement methods	11
Table 7	– Additional transmission attributes required in sub-category specifications	12
Table 8	– Environmental exposure tests	13
Table 9	– Attributes measured for environmental tests	13
Table 10	– Strip force for environmental tests	14

Table 11 – Tensile strength for environmental tests	14
Table 12 – Stress corrosion susceptibility for environmental tests	14
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	26
Table D.4 – DMD templates for A1a.3 fibres	28
Table D.5 – DMD interval masks for A1a.3 fibres	28
Table D.6 – DMD weighting for OMB _c	29
Table F.1 – Bandwidth nomenclature explanation	34
Table H.1 – Some standardised applications supported by A1a fibres and in some cases A1b fibres	37
Table H.2 – Cross reference between ISO/IEC 11801-1 and this document	38
Table I.1 – Summary of 1 Gb/s, 10 Gb/s, 25 Gb/s, 40 Gb/s and 100 Gb/s Ethernet requirements and capabilities	40

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 sixth edition cancels and replaces the fifth edition published in 2015. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) addition of model A1a.4 fibre which supports single wavelength or multi-wavelength transmission systems in the vicinity of 850 nm to 950 nm.

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

CDV	Report on voting
86A/1771/CDV	86A/1794/RVC

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

This document 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 document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document 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 sub-categories A1a, A1b, and A1d. These fibres are used or can be incorporated in information transmission equipment and optical fibre cables.

Sub-category A1a applies to 50/125 μm graded index fibre. Four bandwidth grades are defined as models A1a.1, A1a.2, A1a.3 and A1a.4. Each of these bandwidth grades is defined for two levels of macrobend loss performance that are distinguished by "a" or "b" suffix. Those models with suffix "a" are specified to meet traditional macrobend loss performance levels. Those models with suffix "b" are specified to meet enhanced macrobend loss (i.e. lower loss) performance levels. Model A1a.4 supports single wavelength or multi-wavelength transmission systems in the vicinity of 850 nm to 950 nm.

Sub-category A1b applies to 62,5/125 μm graded index fibre and sub-category 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 document and which are given in Clause 5;
- particular requirements applicable to individual fibre sub-categories and models, or specific applications, which are defined in the normative specification annexes.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60793-1-20, *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 60793-2:2015, *Optical fibres – Part 2: Product specifications – General*

IEC 61280-4-1:2009, *Fibre-optic communication subsystem test procedures – Part 4-1: Installed cable plant – Multimode attenuation measurement*

3 Terms, definitions

No terms and definitions are listed in this document.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

4 Abbreviated terms

CPR	coupled power ratio
DMD	differential mode delay
EF	encircled flux

EMB	effective modal bandwidth
EMB _c	calculated effective modal bandwidth
LAN	local area network
MMF	multimode fibre
NA	numerical aperture
OFL	overfilled launch
OMB _c	overfilled launch modal bandwidth calculated from differential mode delay (also known as OFL _c)
PBX	private branch exchange
PMD	physical medium dependent
ROFL	radial overfilled launch
SAN	storage area network

5 Specifications

5.1 General

The fibre consists of a glass core with a graded index profile and a glass cladding in accordance with IEC 60793-2:2015, 5.1.

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

5.2 Dimensional requirements

Dimensional attributes and measurement methods are given in Table 1.

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

Table 3 lists additional attributes that shall be specified by each sub-category specification.

Table 1 – Dimensional attributes and measurement methods

Attributes	Measurement methods
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/4b 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/4b fibres.	

Table 2 – Dimensional requirements common to category A1 fibres

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

Table 3 – Additional dimensional attributes required in sub-category specifications

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

5.3 Mechanical requirements

Mechanical attributes and measurement methods are given in Table 4.

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

Table 4 – Mechanical attributes and measurement methods

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

Table 5 – Mechanical requirements common to category A1 fibres

Attributes	Unit	Limits
Proof stress level	GPa	$\geq 0,69^a$
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 0,5 m 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.		

5.4 Transmission requirements

Transmission attributes and measurement methods are given in Table 6.

Table 7 lists additional attributes that shall be specified by each sub-category specification.

Table 6 – Transmission attributes and measurement methods

Attributes	Measurement methods
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 (OMB _c) can be used. OMB _c is the reference test method for A1a.1/2/3 fibres at 850 nm and is the required method for A1a.4 fibres at 850 nm and 953 nm. ^b 850 nm modal bandwidth is specified with a test specimen length of $1\,000\text{ m} \pm 5\%$ for A1a.2/3/4 fibres. For A1a.2 fibres, the 850 nm modal bandwidth is measured at $850\text{ nm} \pm 10\text{ nm}$. For A1a.3 and A1a.4 fibres, the 850 nm modal bandwidth is measured at $850\text{ nm} \pm 2\text{ nm}$. For A1a.4 fibre, the modal bandwidth is also measured at $953\text{ nm} \pm 6\text{ nm}$. ^c Numerical aperture is specified at $850\text{ nm} \pm 10\text{ nm}$ with a test specimen length of $2\text{ m} \pm 0,2\text{ m}$ and a threshold value, k_{NA} , of 0,05 for A1 fibres except A1a.1b/2b/3b/4b fibres. ^d Numerical aperture 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_N , of 0,05 for A1a.1b/2b/3b/4b fibres. ^e Differential mode delay is specified with a test specimen length of $1\,000\text{ m} \pm 5\%$ for A1a.2/3/4 fibres. For A1a.2 fibres, the DMD is measured at $850\text{ nm} \pm 10\text{ nm}$. For A1a.3 and A1a.4 fibres, the DMD is measured at $850\text{ nm} \pm 2\text{ nm}$. For A1a.4 fibre, the DMD is also measured at $953\text{ nm} \pm 6\text{ nm}$.	

Specification compliance of chromatic dispersion can be assured by compliance to the numerical aperture (NA) specification for A1 fibre.

**Table 7 – Additional transmission attributes
required in sub-category specifications**

Attributes
Attenuation coefficient
Modal bandwidth
Chromatic dispersion
Numerical aperture
Macrobending loss

For attenuation coefficient and modal bandwidth, the sub-category specifications may contain ranges of specifiable values instead of fixed limits. In this case, 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, Table H.1 shows a number of standardised applications supported by A1 fibres, and Table H.2 provides a cross reference between the cabled optical fibre categories of ISO/IEC 11801-1¹ and fibre sub-categories A1a and A1b of this document.

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 document.

Remarks on the specification of modal bandwidth:

Care should be taken in writing dual wavelength bandwidth specifications. It is understood that 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 60793-2:2015, 5.1). See [26]², page 50, and [27], page 255, for similar figures. 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 bandwidth peak 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 (i.e., outside the shaded region).

¹ Under preparation. Stage at the time of publication: ISO/IEC RDIS 11801-1:2017.

² Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

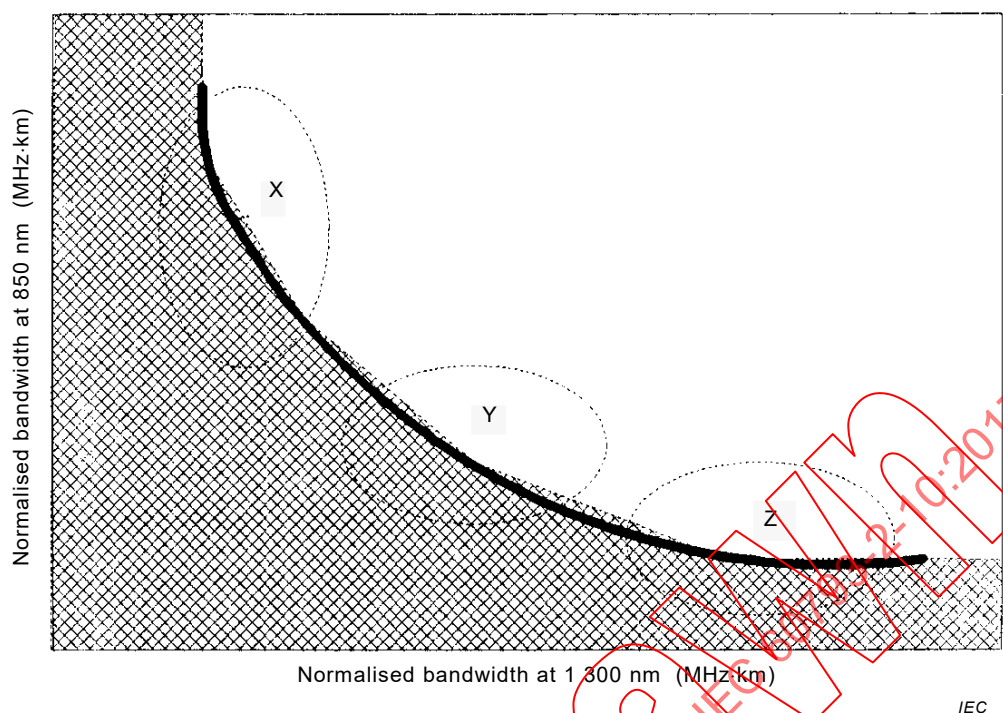


Figure 1 – Relation between bandwidths at 850 nm and 1 300 nm

5.5 Environmental requirements

5.5.1 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.

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

5.5.2.1 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.

5.5.2.2 Strip force

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

Table 10 – Strip force for environmental tests

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

5.5.2.3 Tensile strength

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

Table 11 – Tensile strength for environmental tests

Environment	Median tensile strength specimen length: 0,5 m GPa	15th percentile tensile strength specimen length: 0,5 m GPa
Damp heat	$\geq 3,03$	$\geq 2,76$
NOTE These requirements do not apply to hermetically coated fibre.		

5.5.2.4 Stress corrosion susceptibility

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

Table 12 – Stress corrosion susceptibility for environmental tests

Environment	Stress corrosion susceptibility constant, n_d
Damp heat	≥ 18
NOTE This requirement does not apply to hermetically coated fibre.	

5.5.3 Transmission environmental requirements

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

Table 13 – Change in attenuation for environmental tests

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

Annex A (normative)

Specifications for sub-category 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 a clause entry in the "Reference" column. The "Reference" column also refers to other annexes containing relevant information on the attribute. Relevant notes from the sectional specification are not repeated but indicated with a superscript "SS".

Sub-category A1a is a 50/125 μm graded index fibre. Four bandwidth grades are defined as models A1a.1, A1a.2, A1a.3 and A1a.4. All are specified using overfilled bandwidth metrics, while models A1a.2, A1a.3 and A1a.4 also apply differential mode delay measurements to deliver laser-optimised performance near 850 nm. Model A1a.4 also specifies both overfilled and differential mode delay bandwidth metrics at 953 nm to deliver laser-optimized performance over a wavelength range in the vicinity of 850 nm to 950 nm. A1a.2 complies with A1a.1 specifications. A1a.3 complies with A1a.2 specifications. A1a.4 complies with A1a.3 specifications.

A1a.1, A1a.2, A1a.3 and A1a.4 are 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, A1a.3a, A1a.4a) are specified to meet traditional macrobend loss performance levels. Those with suffix "b" (i.e. A1a.1b, A1a.2b, A1a.3b and A1a.4b) are specified to meet enhanced macrobend loss (i.e. lower loss) performance levels, and thereby also comply with traditional macrobend loss performance.

The nomenclature for the A1a sub-category 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 portion of the name 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

Attributes	Unit	Limits	Reference
Cladding diameter	μm	125 ± 1	
Cladding non-circularity	%	≤ 1	
Core diameter ^{SS}	μm	$50 \pm 2,5$	
Core-cladding concentricity error	μm	≤ 2	
Core non-circularity	%	≤ 6	5.2
Primary coating diameter – uncoloured ^{SS}	μm	245 ± 10	5.2
Primary coating diameter – coloured ^{SS}	μm	250 ± 15	5.2
Primary coating-cladding concentricity error	μm	$\leq 12,5$	5.2
Length	km	(see 5.2)	5.2
^{SS} See notes in the main body of this sectional specification.			

A.3 Mechanical requirements

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

Table A.2 – Mechanical requirements specific to A1a fibres

Attributes	Unit	Limits	Reference
Proof stress level ^{SS}	GPa	$\geq 0,69$	5.3
Average strip force ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{avg}} \leq 5,0$	5.3
Peak strip force ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{peak}} \leq 8,9$	5.3
^{SS} See notes in the main body of this sectional specification.			

A.4 Transmission requirements

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

Table A.3 – Transmission requirements specific to A1a fibres

Attributes			Unit	Limits				Reference	
Fibre model				A1a.1	A1a.2	A1a.3	A1a.4		
Targeted operational wavelength(s) ^a			nm	850			850 to 950	Annex E	
Maximum attenuation coefficient at 850 nm			dB/km	2,5					
Maximum attenuation coefficient at 953 nm			dB/km	Not specified			1,8		
Maximum attenuation coefficient at 1 300 nm			dB/km	0,8					
Minimum modal bandwidth-length product for overfilled launch at 850 nm ^{SS}			MHz·km	500	1 500	3 500	3 500 Meet Clause D.5		
Minimum modal bandwidth-length product for overfilled launch at 953 nm ^{SS}			MHz·km	Not specified			1 850 Meet Clause D.5		
Minimum modal bandwidth-length product for overfilled launch at 1 300 nm			MHz·km	500					
Minimum effective modal bandwidth-length product at 850 nm ^{SS}			MHz·km	Not specified	2 000 Meet Clause D.1 or Clause D.2	4 700 Meet Clause D.3 or Clause D.4	4 700 Meet Clause D.5	Annexes D, E, F, G	
Minimum effective modal bandwidth-length product at 953 nm ^{SS}			MHz·km	Not specified			2 470 Meet Clause D.5	Annexes D, E, F, G	
Numerical aperture ^{SS}			Dimensionless	0,200 ± 0,015					
Maximum macro-bending loss ^b	Bending radius	Number of turns	dB	A1a.1a	A1a.2a	A1a.3a	A1a.4a		
				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	A1a.4b		
				Max at 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					
Zero dispersion wavelength, λ_0			nm	$1\,295 \leq \lambda_0 \leq 1\,340$ ^c			$1\,297 \leq \lambda_0 \leq 1\,328$ ^d		
Zero dispersion slope, S_0			ps/nm ² ·km	$S_0 \leq 0,105$ from $1\,295 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,310 \text{ nm}$, and $\leq 0,000\,375 (1\,590 - \lambda_0)$ from $1\,310 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,340 \text{ nm}$ ^c			$S_0 \leq 4 (-103) / (840 (1 - (\lambda_0/840)^4))$ ^d		

^a Targeted operational wavelength(s) is informative.

^b The launch condition for the macrobending loss measurement shall fulfil that described in IEC 61280-4-1.

^c 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 $-104 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$.

^d The coordinate that generates the worst-case dispersion for operating wavelengths from 840 nm to 1 000 nm is $\lambda_0 = 1\,328 \text{ nm}$, $S_0 = 0,093\,477 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$. The worst case chromatic dispersion coefficient at 850 nm is $-98,5 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$.

^{SS} See notes in the main body of this sectional specification.

A.5 Environmental requirements

The requirements of 5.5 shall be met.

Annex B (normative)

Specifications for sub-category 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 a clause entry in the "Reference" column. Relevant notes from the sectional specification are not repeated but indicated with a superscript "SS".

Sub-category A1b fibre is a 62,5/125 μm graded index fibre.

B.2 Dimensional requirements

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

Table B.1 – Dimensional requirements specific to A1b fibres

Attributes	Unit	Limits	Reference
Cladding diameter	μm	125 ± 2	
Cladding non-circularity	%	≤ 2	
Core diameter ^{SS}	μm	$62,5 \pm 3$	
Core-cladding concentricity error	μm	≤ 3	
Core non-circularity	%	≤ 6	5.2
Primary coating diameter – uncoloured ^{SS}	μm	245 ± 10	5.2
Primary coating diameter – coloured ^{SS}	μm	250 ± 15	5.2
Primary coating-cladding concentricity error	μm	$\leq 12,5$	5.2
Length ^{SS}	km	(see 5.2)	5.2
^{SS} See notes in the main body of this sectional specification.			

B.3 Mechanical requirements

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

Table B.2 – Mechanical requirements specific to A1b fibres

Attributes	Unit	Limits	Reference
Proof stress level ^{SS}	GPa	$\geq 0,69$	5.3
Average strip force ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{avg}} \leq 5,0$	5.3
Peak strip force ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{peak}} \leq 8,9$	5.3
^{SS} See notes in the main body of this sectional specification.			

B.4 Transmission requirements

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

Table B.3 – Transmission requirements specific to A1b fibres

Attributes	Unit	Limits	Reference
Maximum attenuation coefficient at 850 nm	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 ^{ss}	Dimensionless	0,275 ± 0,015	
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 ($S_0 = 0,11 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ at $\lambda_0 = 1\,348 \text{ nm}$) is $-125 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$. ^{ss} See notes in the main body of this sectional specification.			

B.5 Environmental requirements

The requirements of 5.5 shall be met.

Annex C (normative)

Specifications for sub-category 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".

Sub-category A1d fibre is a 100/140 μm graded index fibre.

C.2 Dimensional requirements

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

Table C.1 – Dimensional requirements specific to A1d fibres

Attributes	Unit	Limits	Reference
Cladding diameter	μm	140 ± 4	
Cladding non-circularity	%	≤ 4	
Core diameter ^{SS}	μm	100 ± 5	
Core-cladding concentricity error	μm	≤ 6	
Core non-circularity	%	≤ 6	5.2
Primary coating diameter – uncoloured ^{SS}	μm	245 ± 10	5.2
Primary coating diameter – coloured ^{SS}	μm	250 ± 15	5.2
Primary coating-cladding concentricity error	μm	$\leq 12,5$	5.2
Length ^{SS}	km	(see 5.2)	5.2
^{SS} See notes in the main body of this sectional specification.			

C.3 Mechanical requirements

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

Table C.2 – Mechanical requirements specific to A1d fibres

Attributes	Unit	Limits	Reference
Proof stress level ^{SS}	GPa	$\geq 0,69$	5.3
Average strip force ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{avg}} \leq 5,0$	5.3
Peak strip force ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{peak}} \leq 8,9$	5.3
^{SS} See notes in the main body of this sectional specification.			

C.4 Transmission requirements

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

Table C.3 – Transmission requirements specific to A1d fibres

Attributes	Unit	Limits	Reference
Maximum attenuation coefficient at 850 nm ^a	dB/km	3,5 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 ^{ss}	Dimensionless	0,26 ± 0,03 or 0,29 ± 0,03	
Maximum macrobending loss	dB	For further study	
Zero dispersion wavelength, λ_0	nm	$1\,330 \leq \lambda_0 \leq 1\,385$ ^b	
Zero dispersion slope S_0 – from $1\,330 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,365 \text{ nm}$ – from $1\,365 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,385 \text{ nm}$	ps/nm ² ·km	$\leq 0,105$ ^b $\leq 0,000\,5 (1\,575 - \lambda_0)$ ^b	
^a The limit column forms a range of values that may be specified.			
^b The worst case chromatic dispersion coefficient at 850 nm ($S_0 = 0,105 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ at $\lambda_0 = 1\,365 \text{ nm}$) is –126 ps/nm·km.			
^{ss} See notes in the main body of this sectional specification.			

C.5 Environmental requirements

The requirements of 5.5 shall be met.

Annex D (normative)

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

D.1 A1a.2 fibre DMD requirements

D.1.1 General

A1a.2 fibres selected using the DMD mask method shall meet the requirements of D.1.2 and D.1.3. The radial limits, R_{INNER} and R_{OUTER} , were established for transmitters meeting the requirements of Clause E.4.

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).

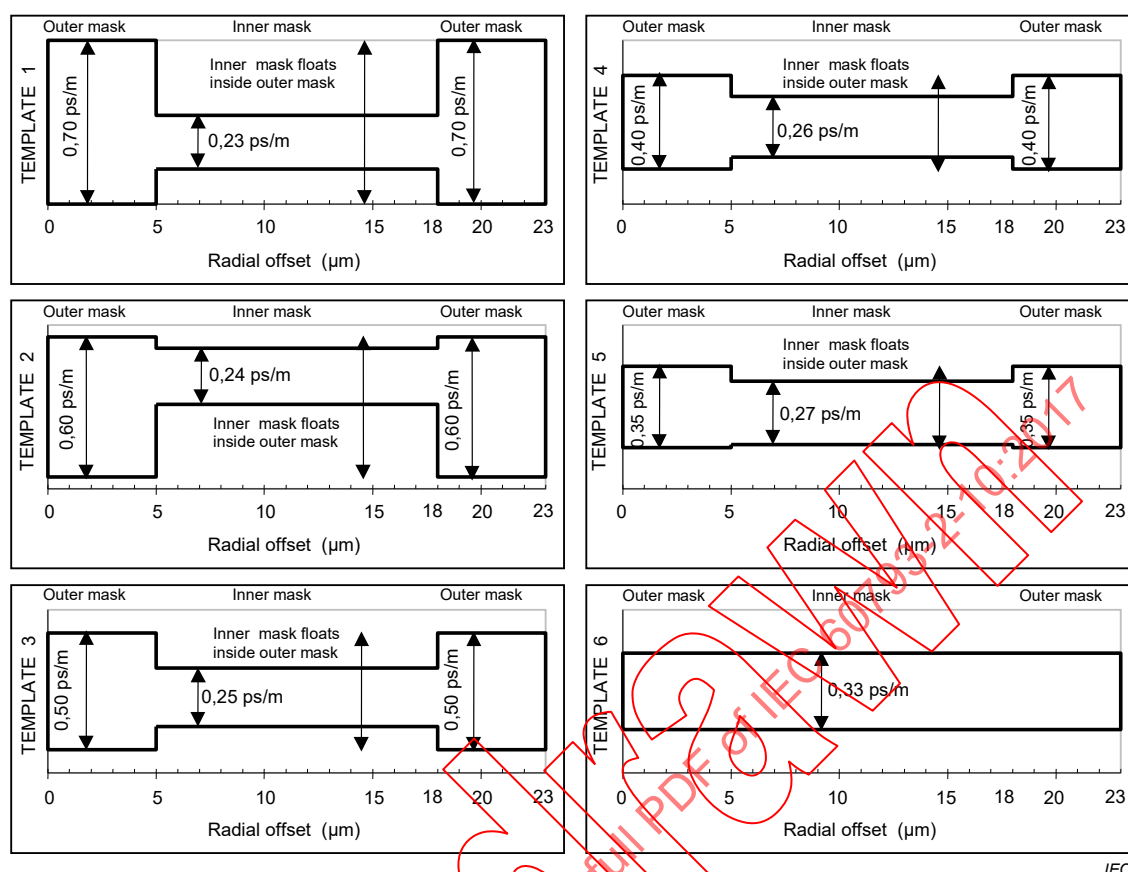


Figure D.1 – DMD template requirements

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 [1 to 12].

The use of a template on the values of DMD achieves an effective trade-off between transmitter and fibre properties. The transmitter launch condition is bounded by encircled flux requirements at 4,5 μm and 19 μm as discussed in Clause E.4. 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):

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

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 it is possible that its value is not optimal for use in system models. Refer to Annex E for information regarding the corresponding system parameter called the "effective modal bandwidth" (EMB) and its relationship to EMB_c .

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.4.

Table D.3 – DMD weightings

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

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.4.

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 $R_{\text{INNER}} = 5 \mu\text{m}$ 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	$\leq 0,10$	$\leq 0,30$
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 the introductory text for Table D.3 in D.2.2 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 (minEMB_c) within this set shall meet the requirement of Equation (D.2):

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

where

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

D.5 A1a.4 fibre modal bandwidth requirements**D.5.1 General**

A1a.4 fibres shall meet the requirements of D.5.2 and D.5.3. See the introductory text for Table D.3 in D.2.2 for supporting information.

D.5.2 Calculated effective modal bandwidth

The DMD optical pulse shapes shall 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 Equations (D.3) and (D.4):

$$\text{minEMB}_c \geq 4 \, 160 \, \text{MHz} \cdot \text{km} \text{ at } 850 \, \text{nm} \quad (\text{D.3})$$

$$\text{minEMB}_c \geq 2 \, 190 \, \text{MHz} \cdot \text{km} \text{ at } 953 \, \text{nm} \quad (\text{D.4})$$

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.

D.5.3 Calculated overfilled modal bandwidth

The DMD optical pulse shapes shall be weighted by the launch distribution of Table D.6 to determine a corresponding OMB_c value at 850 nm and 953 nm. The weights of Table D.6 are the same as those in IEC 60793-1-41 for method C.

Table D.6 – DMD weighting for OMB_c

Radial position, r μm	OFL weighting
0	0
1	0,000 73
2	0,001 57
3	0,002 53
4	0,003 62
5	0,004 87
6	0,006 31
7	0,007 95
8	0,009 83
9	0,011 98
10	0,014 43
11	0,017 25
12	0,020 46
13	0,024 14
14	0,028 36
15	0,033 17
16	0,038 69
17	0,045 00
18	0,052 21
19	0,060 47
20	0,069 92
21	0,080 73
22	0,093 10
23	0,107 25
24	0,123 45
25	0,141 97

Annex E (informative)

System, modal bandwidth, and transmitter considerations

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. To generate a robust bandwidth estimate when the impulse response is non-Gaussian, the 3 dB bandwidth is replaced by an extrapolation of the 1,5 dB bandwidth.

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. The minEMB_c technique reviewed in Clause E.3 screens the fibre with 10 simulated lasers that explore the observed mode power distribution; the set of 10 simulated lasers is believed to be conservative compared to commercially available lasers but narrower than the set of theoretical lasers in the original TIA model shown in Figure E.2 [11]. The chosen lasers exhibit a variety of coupled mode power distribution characteristics: some with power more concentrated in lower order modes, some with power more concentrated in higher order modes, and some with both low order and high order mode power concentrations.

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]. 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.4 below with a 50 µm fibre meeting the specifications in Annex D.

E.2 System considerations

E.2.1 A1a.2 and A1a.3 fibres

Refer to Clause E.3.

E.2.2 A1a.4 fibre

Fibre specifications for high data systems have been developed using link models [28]. The 10 Gb/s and 25 Gb/s models build on the 1 Gb/s link model [28] which includes both a requirement that the power penalty or margin be positive and that the inter-symbol interference (ISI) be less than 3,6 dB.

The A1a.4 fibre specifications were developed using the Excel link models for IEEE 100GBASE-SR4 (Example MMF Link Model.xls [24]) and Fibre Channel 32GFC (T11-12-376v0.xlsx [25]). The link models were used to determine the bandwidth requirements over the wavelength range from 840 nm to 953 nm. The wavelengths were varied within this range in the models. In the link models, the dispersion parameters U_0 (zero dispersion wavelength) and S_0 (zero dispersion slope) were adjusted to new values of 1 328 nm and 0,093 477 ps/nm²km based on round-robin results, and the cabled fibre attenuation was decreased from 3,5 dB/km to 3,0 dB/km. Both link models are margin-limited over the 840 nm to 953 nm wavelength range (unlike the IEEE P802.3ae 10GBASE-S model [13] used for OM3, which is inter-symbol interference limited to less than or equal to 3,6 dB), and the EMB in the link model was adjusted to achieve a margin of 0,000 dB. For setting the EMB specification, it was agreed to use the 32GFC link model with zero margin because the EMB requirements are higher than for the 100GBASE-SR4 model (that is, bandwidth requirements

were chosen that met requirements of both system link models). The normative EMB specifications are 4 700 MHz·km at 850 nm and 2 470 MHz·km at 953 nm. These are marked with circles in Figure E.1. With these requirements fulfilled, the expected worst-case EMB lies on or above the system requirements, as explained in Clause E.3.

E.3 Effective modal bandwidth (EMB)

During the development of fibre model A1a.2, a detailed time-domain Monte-Carlo simulation was used to assess the performance-screening ability of various DMD mask and DMD weighting proposals for transmitters meeting the specifications of Clause E.4 [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 model 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.1).

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

The EMB derived by Equation (E.1) also applies to the Fibre Channel link models. 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.2).

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

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

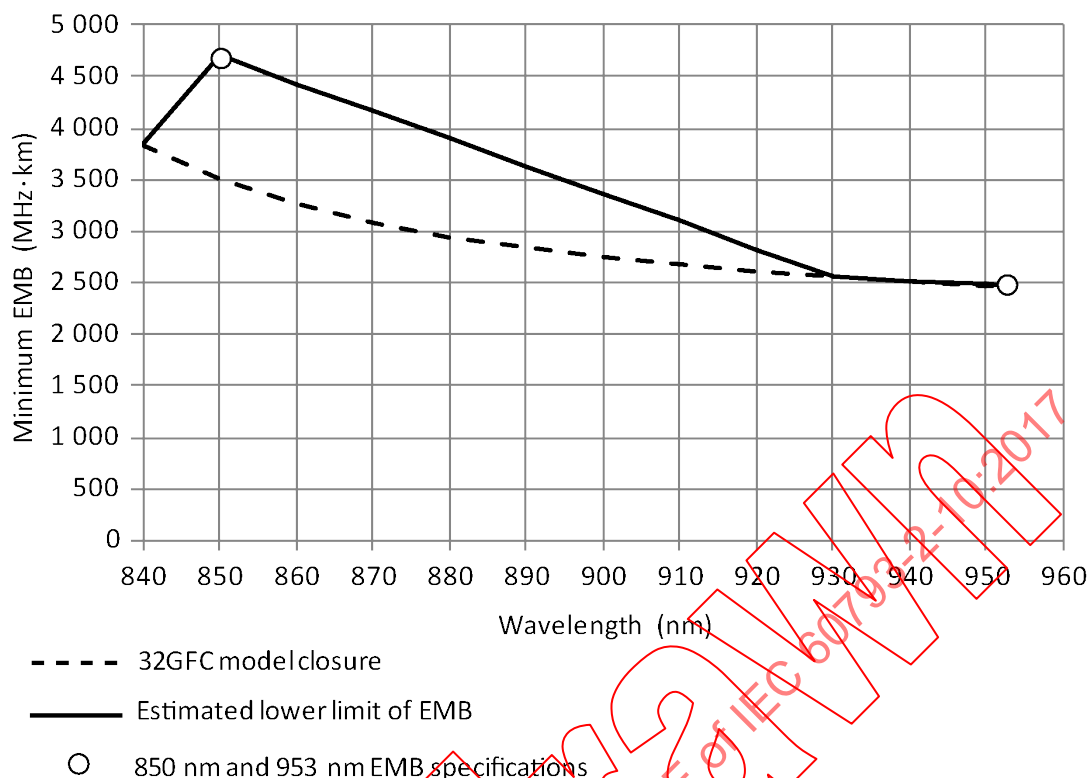
Fibres passing the requirements of Clause D.5 (i.e. A1a.4 fibres) generally exhibit EMB meeting Equations (E.3), (E.4) and (E.5), which are depicted as three straight-line segments from (a) 840 nm to 850 nm, (b) 850 nm to 930 nm, and (c) 930 nm to 953 nm. The unit of EMB in all three equations is MHz·km.

$$\text{EMB} \geq 3\,840 + (4\,700 - 3\,840) \times (\lambda_c - 840) / (850 - 840) \text{ for } 840 \text{ nm} \leq \lambda_c \leq 850 \text{ nm} \quad (\text{E.3})$$

$$\text{EMB} \geq 4\,700 + (2\,565 - 4\,700) \times (\lambda_c - 850) / (930 - 850) \text{ for } 850 \text{ nm} \leq \lambda_c \leq 930 \text{ nm} \quad (\text{E.4})$$

$$\text{EMB} \geq 2\,565 + (2\,470 - 2\,565) \times (\lambda_c - 930) / (953 - 930) \text{ for } 930 \text{ nm} \leq \lambda_c \leq 953 \text{ nm} \quad (\text{E.5})$$

Equations (E.3), (E.4), and (E.5) describe three straight line segments between the minimum EMB indicated by the 32GFC link model at 840 nm and the two minimum EMBs at the nominal measurement wavelengths of 850 nm and 953 nm. Equations (E.3), (E.4) and (E.5) are plotted in Figure E.1 along with values of EMB that close the 32GFC link model. The straight line segments from 840 nm to 953 nm were carefully established as providing a minimum EMB guidance over the wavelength range while not intentionally introducing special fibre design dependence.



IEC

Figure E.1 – Estimated minimum wide band EMB versus wavelength

E.4 Transmitter encircled flux (EF) and centre wavelength requirements

E.4.1 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, D.4 and D.5, were established in conjunction with the particular bounded range of laser launch conditions specified in Equations (E.6) and (E.7). 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.6) and (E.7) when measured according to IEC 61280-1-4 [15] with the transmitter coupled into a 50- μm fibre meeting the specifications of this document.

$$\text{EF at radius } 4,5 \mu\text{m} \leq 30 \% \quad (\text{E.6})$$

$$\text{EF at radius } 19 \mu\text{m} \geq 86 \% \quad (\text{E.7})$$

The approximate positions of the DMD weightings specified in Table D.3 are depicted in the Figure E.2 below, relative to the boundaries given in Equations (E.6) and (E.7) [27].

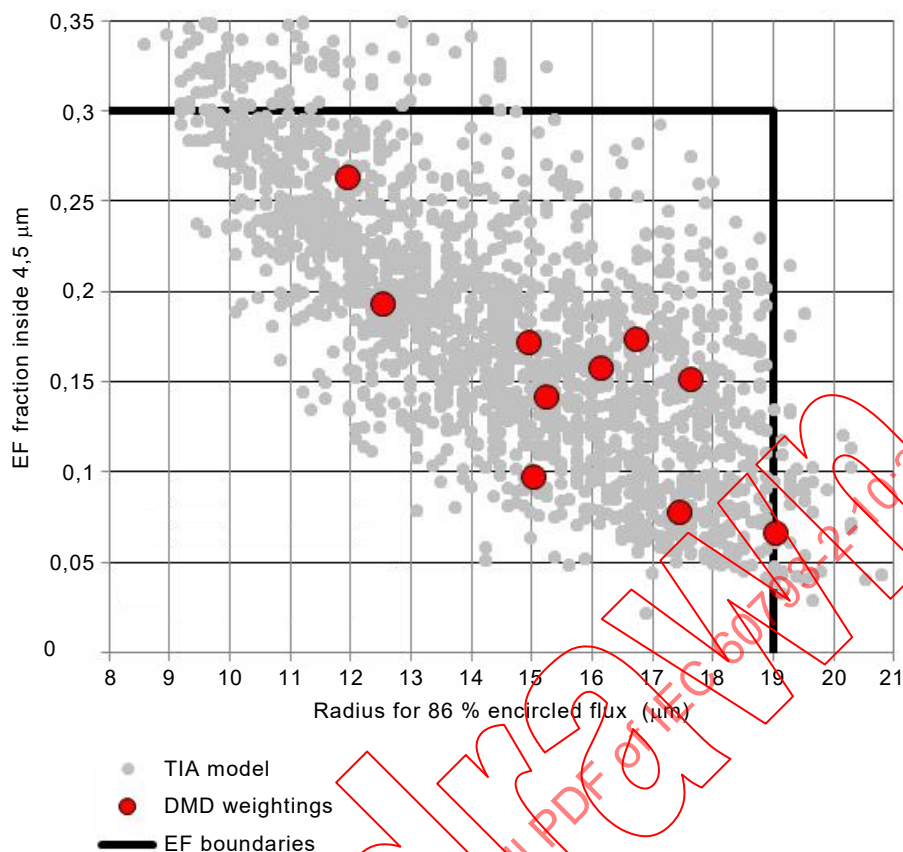


Figure E.2 – Approximate position of DMD weightings relative to the EF boundaries of Equations (E.6) and (E.7)

Several published application standards meet the requirements of E.4.1 and E.4.2 [20 to 23].

E.4.2 Centre wavelength for A1a.2 and A1a.3 fibres

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 850 nm [6]. See [14] for an illustration of bandwidth roll-off for fibres with bandwidth similar to fibre model A1a.3.

The laser transmitter centre wavelength (λ_c) should meet the requirements of Equation (E.8) when tested according to IEC 61280-1-3 [16].

$$840 \text{ nm} \leq \lambda_c \leq 860 \text{ nm} \quad (\text{E.8})$$

E.4.3 Centre wavelength for A1a.4 fibre

Because the fibre's modal delays change with wavelength, the highest modal bandwidth performance is attained when the laser transmitter centre wavelength is between the DMD measurement wavelengths. When the laser transmitter's centre wavelength is outside this range, the modal bandwidth may degrade. See Equation (E.3), (E.4) and (E.5) for advice on bandwidth values between the DMD measurement wavelengths.

The laser transmitter centre wavelength (λ_c) should meet the requirements of Equation (E.9) when tested according to IEC 61280-1-3 [16].

$$840 \text{ nm} \leq \lambda_c \leq 953 \text{ nm} \quad (\text{E.9})$$

Annex F (informative)

Bandwidth nomenclature explanation

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

Table F.1 – Bandwidth nomenclature explanation

Parameter name and abbreviation	Parameter description
Calculated effective modal bandwidth (EMB_c)	The calculated modal bandwidth resulting from a particular weighting of a particular DMD.
Minimum calculated effective modal bandwidth (minimum EMB_c) or ($minEMB_c$)	The minimum calculated modal bandwidth resulting from a particular set of weightings of a particular DMD.
Effective modal bandwidth (EMB)	The modal bandwidth that results from multiplying the minimum calculated effective modal bandwidth by 1,13 to arrive at a value aligned with the assumptions of the IEEE 802.3ae link model for transmitters compliant to Clause E.2.
Calculated overfilled modal bandwidth (OMB_c)	The calculated modal bandwidth resulting from weighting a particular DMD to simulate an overfilled launch condition.

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 Std 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 E.4.1;
- 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 bandwidth [29]. 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, with each template having double the DMD temporal width in both the inner and outer masks, and an overfilled bandwidth-length product of ≥ 750 MHz·km.

Withdrawing
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-2-10:2017

Annex H (informative)

Applications and cabling categories supported by A1 fibres

H.1 Standardised applications

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

**Table H.1 – Some standardised applications supported by
A1a fibres and in some cases A1b fibres**

Application	Source	Name
1GFC	ISO/IEC 14165-115	1-Gigabit Fibre Channel
2GFC	ISO/IEC 14165-115	2-Gigabit Fibre Channel
4GFC	ANSI/INCITS 479	4-Gigabit Fibre Channel
8GFC	ANSI/INCITS 479	8-Gigabit Fibre Channel
10GFC	ISO/IEC 14165-116	10-Gigabit Fibre Channel
16GFC	ANSI/INCITS 479	16-Gigabit Fibre Channel
32GFC	ANSI/INCITS 512	32-Gigabit Fibre Channel
1000BASE-SX	ISO/IEC/IEEE 8802-3	Gigabit Ethernet
1000BASE-LX	ISO/IEC/IEEE 8802-3	Gigabit Ethernet
10GBASE-S	ISO/IEC/IEEE 8802-3	10-Gigabit Ethernet
25GBASE-SR	ISO/IEC/IEEE 8802-3	25-Gigabit Ethernet
40GBASE-SR4	ISO/IEC/IEEE 8802-3	40-Gigabit Ethernet
100GBASE-SR10	ISO/IEC/IEEE 8802-3	100-Gigabit Ethernet
100GBASE-SR4	ISO/IEC/IEEE 8802-3	100-Gigabit Ethernet

H.2 Cross reference of cabled optical fibre performance categories in ISO/IEC 11801-1 to fibres of this document

Table H.2 provides a cross reference between the cabled optical fibre categories of ISO/IEC 11801-1 and the fibre sub-categories of this document.

Table H.2 – Cross reference between ISO/IEC 11801-1 and this document

ISO/IEC 11801-1 cabled optical fibre performance category	IEC 60793-2-10 fibre sub-category or model
OM1 ^a	A1b ^b
OM2 ^c	A1a.1 ^d
OM3	A1a.2
OM4	A1a.3
OM5	A1a.4
^a OM1 cables are not supported for new installations within ISO/IEC 11801-1. ^b Historically, ISO/IEC 11801:2002 also defined OM1 cables made with 50/125 µm fibres having a minimum overfilled launch bandwidth of 200 MHz·km at 850 nm and 500 MHz·km at 1 300 nm. This specific bandwidth combination of 50/125 µm fibre is not part of this document. ^c OM2 cables are not supported for new installations within ISO/IEC 11801-1. ^d Historically, ISO/IEC 11801:2002 also defined OM2 cables made with 62.5/125 µm fibres having a minimum overfilled launch bandwidth of 500 MHz·km at 850 nm and 500 MHz·km at 1 300 nm. This specific bandwidth combination of 62.5/125 µm fibre is not part of this document.	

Annex I

(informative)

1-Gigabit, 10-Gigabit, 25-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, 25-Gigabit, 40-Gigabit, and 100-Gigabit Ethernet application standards developed 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, 25 Gb/s, 40 Gb/s and 100 Gb/s Ethernet requirements and capabilities. The rows of Table I.1 are grouped by fibre sub-category and model and listed by increasing data 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 61280-4-1:2009, ROFL is defined in IEEE 802.3.
- Encircled Flux (EF) requirements for 10 Gb/s, 25 Gb/s, 40 Gb/s and 100 Gb/s 850 nm operation on fibre models A1a.2, A1a.3 and A1a.4 with effective modal bandwidth ensured by DMD measurement. The EF requirements are: EF at 4,5 μm radius $\leq 30\%$ and EF at 19,0 μm radius $\geq 86\%$. For EF measurements see IEC 61280-1-4.

Table I.1 – Summary of 1 Gb/s, 10 Gb/s, 25 Gb/s, 40 Gb/s and 100 Gb/s Ethernet requirements and capabilities

Fibre sub-category or model	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
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
A1a.1	10	400 for OFL	n.s.	10GBASE-S	EF at 4,5 mm radius ≤ 30 %, EF at	66	400 for OFL	n.s.	10GBASE-LX4	Offset-launch patch cord	240

Fibre sub-category or model	Bit rate Gb/s	Nominal wavelength									
		850 nm					1 300 nm				
		Minimum modal bandwidth for indicated measurement 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 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
					19,0 µm radius $\geq 86\%$						
A1a.1	10	500 for OFL	n.s.	10GBASE-S	EF at 4,5 µm radius $\leq 30\%$, EF at 19,0 µm radius $\geq 86\%$	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 $\geq 30\%$, EF at 11 µm radius $\geq 81\%$	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 $\geq 30\%$, EF at 11 µm radius $\geq 81\%$	220
A1a.2	10	1 500 for OFL	2 000	10GBASE-S	EF at 4,5 µm radius $\leq 30\%$, EF at 19,0 µm radius $\geq 86\%$	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 $\geq 30\%$, EF at 11 µm radius $\geq 81\%$	220
A1a.2	25	1 500 for OFL	2 000	25GBASE-SR	EF at 4,5 µm radius $\leq 30\%$, EF at 19,0 µm radius $\geq 86\%$	70	500 for OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A1a.2	40	1 500 for OFL	2 000	40GBASE-SR4	EF at 4,5 µm radius $\leq 30\%$, EF at 19,0 µm radius	100	500 for OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Fibre sub-category or model	Bit rate Gb/s	Nominal wavelength									
		850 nm					1 300 nm				
		Minimum modal bandwidth for indicated measurement 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 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 or A1a.4	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 or A1a.4	25	3 500 for OFL	4 700	25GBASE-SR	EF at 4,5 µm radius ≤ 30 %, EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %	100	500 for OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A1a.3 or A1a.4	40	3 500 for OFL	4 700	40GBASE-SR4	EF at 4,5 µm radius ≤ 30 %, EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %	150 ^b	500 for OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A1a.3 or A1a.4	100	3 500 for OFL	4 700	100GBASE-SR10	EF at 4,5 µm radius ≤ 30 %, EF at 19,0 µm radius ≥ 86 %	150 ^b	500 for OFL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
A1a.3 or A1a.4	100	3 500 for OFL	4 700	100GBASE-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 sub-category or model	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
n.s. = not specified									
^a PMD = The IEEE 802.3 nomenclature for a device, such as a transceiver, that connects to the transmission medium.									
^b This is an engineered link with maximum 1,0 dB connection and splice loss.									

n.s. = not specified

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

b This is an engineered link with maximum 1,0 dB connection and splice loss.

Bibliography

- [1] J. Ritger, J. Abbott, "New Delay Set for TIA Modelling", White paper, June 1, 2001 [viewed 2017-07-04]. 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 [viewed 2017-07-04]. Available at: <http://www.tiaonline.org/>
- [3] P. Kolesar, "Source Characteristics Development", Presentation to FO2.2.1, June 2001 [viewed 2017-07-04]. Available at: <http://www.tiaonline.org/>
- [4] S. Golowich, J. Ritger, P. Kolesar, "Simulation of 50 μ m 10 Gb Links", Presentation to FO2.2.1, June 25, 2001 [viewed 2017-07-04]. Available at: <http://www.tiaonline.org/>
- [5] S. Golowich, P. Kolesar, J. Ritger, G. Giaretta, "Modelling, Simulation, and Experimental Study of a 50 μ m Multimode Fiber Serial 10 Gb Link", Presentation to IEEE 802.3ae, May, 2000 [viewed 2017-07-04]. Available at: 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 [viewed 2017-07-04]. 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 μ m multimode fiber links operating at 10 Gb/s", OFC 2001, paper WDD40
- [9] J. Ritger, "Use of Differential Mode Delay in Qualifying Multi-Mode Optical Fiber for 10 Gbps Operation", OFMC 2001 paper
- [10] M. Hackert, "FO2.2.1 Update", March 2001 IEEE Plenary [viewed 2017-07-04]. Available at: http://grouper.ieee.org/groups/802/3/ae/public/mar01/hackert_1_0301.pdf
- [11] P. Pepeljugoski, M. Hackert, J. Abbott, S. Swanson, S. Golowich, J. Ritger, P. Kolesar, C. Chen and P. Pleunis, "Development of System Specification for Laser Optimized 50 μ m Multimode Fiber for Multi-gigabit Short Wavelength LANs", J. Lightwave Tech., volume 21, No. 5, p. 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, p. 1242-1255, May 2003.
- [13] IEEE P802.3ae 10Gb/s Ethernet Task Force Link Budget Spreadsheet (Version 3.1.16a) [viewed 2017-07-04]. Available at: <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, p. 295-303, November 2008

- [18] A. Sengupta, "Simulation of 10GbE Multimode Optical Communications Systems", Proceedings of the 57th IWCS Conference, p. 320-326, 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 Std 802.3TM-2015, *IEEE Standard for Ethernet*, Clause 52 for 10GBASE-S, Clause 86 for 40GBASE-SR4 and 100GBASE-SR10, Clause 95 for 100GBASE-SR4, Clause 112 for 25GBASE-SR
- [21] ISO/IEC 14165-116, *Information technology – Fibre channel – Part 116: 10 Gigabit fibre channel (10GFC)*
- [22] ANSI/INCITS 479-2011 *Fibre Channel – Physical Interface-5 (FC-PI-5)*, for 400-SN (4GFC), 800-SN and 800-SA (8GFC), 1600-SN (16GFC)
- [23] ANSI/INCITS 512-2015 *Fibre Channel – Physical Interface-6 (FC-PI-6)*, for 3200-SN (32GFC)
- [24] IEEE 100G-SR4 Example MMF Link Model.xls, Petrilla [viewed 2017-07-04]. Available at: <http://www.ieee802.org/3/bm/public/may13/index.html>
- [25] 32G Fibre Channel Model T11-12-376v0, Cunningham 9/27/2012 [viewed 2017-07-04]. Available at: <http://www.t11.org/ftp/t11/pub/fc/pi-6/12/376v0.xlsx>
- [26] H. Murata, *Handbook of Optical Fibers and Cables*, 2nd Edition. New York: Marcel Dekker Inc., 1996, Figure 22
- [27] J. Abbott, S. Bickham, P. Dainese, M. Li, "Fibers for Short-Distance Applications", Chapter 7 in *Optical Fiber Telecommunications VIA*. New York: Elsevier, 2013, Figure 7.3
- [28] D. Cunningham and W. Lane, *Gigabit Ethernet Networking*. New York: Macmillan Technical Publishing, 1999 (Chapter 9 – The Gigabit Ethernet Optical Link Model)
- [29] Smith and Personick, 1982

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*

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

ISO/IEC 11801-1, *Information technology – Generic cabling for customer premises- Part 1: General requirements*³

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

ANSI/INCITS 479, *Information technology – Fibre Channel – Physical Interface-5 (FC-PI-5)*

ISO/IEC/IEEE 8802-3, *Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 3: Standard for Ethernet*

³ Under preparation. Stage at the time of publication: ISO/IEC RDIS 11801-1:2017.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	49
1 Domaine d'application	51
2 Références normatives	51
3 Termes et définitions	53
4 Termes abrégés	53
5 Spécifications	53
5.1 Généralités	53
5.2 Exigences dimensionnelles	53
5.3 Exigences mécaniques	55
5.4 Exigences de transmission	55
5.5 Exigences environnementales	57
5.5.1 Généralités	57
5.5.2 Exigences liées à l'environnement mécanique (communes à toutes les fibres de catégorie A1)	58
5.5.3 Exigences d'environnement pour la transmission	59
Annexe A (normative) Spécifications pour les fibres multimodales de la sous-catégorie A1a	60
A.1 Généralités	60
A.2 Exigences dimensionnelles	60
A.3 Exigences mécaniques	61
A.4 Exigences de transmission	61
A.5 Exigences environnementales	63
Annexe B (normative) Spécifications pour les fibres multimodales de la sous-catégorie A1b	64
B.1 Généralités	64
B.2 Exigences dimensionnelles	64
B.3 Exigences mécaniques	64
B.4 Exigences de transmission	64
B.5 Exigences environnementales	65
Annexe C (normative) Spécifications pour les fibres multimodales de la sous-catégorie A1d	66
C.1 Généralités	66
C.2 Exigences dimensionnelles	66
C.3 Exigences mécaniques	66
C.4 Exigences de transmission	67
C.5 Exigences environnementales	67
Annexe D (normative) Exigences concernant le retard de mode différentiel (DMD) de la fibre, la largeur de bande modale effective calculée (EMB_C) et la largeur de bande modale saturée calculée (OMB_C)	68
D.1 Exigences relatives au DMD pour les fibres A1a.2	68
D.1.1 Généralités	68
D.1.2 Gabarits de DMD	68
D.1.3 Masques d'intervalle de DMD	70
D.2 Exigences relatives à l' EMB_C des fibres A1a.2	70
D.2.1 Généralités	70
D.2.2 Largeur de bande effective calculée	70
D.3 Exigences de DMD des fibres A1a.3	72

D.3.1	Généralités	72
D.3.2	Gabarits de DMD	72
D.3.3	Masques d'intervalle de DMD	73
D.4	Exigences relatives à l'EMB _C des fibres A1a.3	73
D.4.1	Généralités	73
D.4.2	Largeur de bande effective calculée	73
D.5	Exigences relatives à la largeur de bande modale des fibres A1a.4	73
D.5.1	Généralités	73
D.5.2	Largeur de bande modale effective calculée	74
D.5.3	Largeur de bande modale saturée calculée	74
Annexe E (informative)	Considérations sur les systèmes, la largeur de bande modale et les émetteurs	75
E.1	Contexte	75
E.2	Considérations sur les systèmes	75
E.2.1	Fibres A1a.2 et A1a.3	75
E.2.2	Fibre A1a.4	75
E.3	Largeur de bande modale effective (EMB)	76
E.4	Exigences relatives au flux inscrit (EF) et à la longueur d'onde centrale pour l'émetteur	78
E.4.1	Flux inscrit	78
E.4.2	Longueur d'onde centrale pour les fibres A1a.2 et A1a.3	79
E.4.3	Longueur d'onde centrale pour une fibre A1a.4	79
Annexe F (informative)	Explication de la nomenclature des largeurs de bande	80
Annexe G (informative)	Indications préliminaires pour les éléments qui nécessitent une étude supplémentaire	81
G.1	Largeur de bande modale effective (EMB) à 1 300 nm	81
G.2	Graduation de l'EMB avec le DMD	82
Annexe H (informative)	Applications et catégories de câbles supportées par les fibres A1	83
H.1	Applications normalisées	83
H.2	Correspondance entre les catégories de performance de fibres optiques câblées de l'ISO/IEC 11801-1 et les fibres du présent document	83
Annexe I (informative)	Applications Ethernet 1 gigabit, 10 gigabits, 25 gigabits, 40 gigabits et 100 gigabits	85
Bibliographie		91
Figure 1	Relation entre les largeurs de bande à 850 nm et à 1 300 nm	57
Figure D.1	Exigences relatives aux gabarits de DMD	69
Figure E.1	EMB large bande minimale estimée en fonction de la longueur d'onde	77
Figure E.2	Position approchée de pondérations de DMD par rapport aux limites de flux inscrit des Equations (E.6) et (E.7)	78
Tableau 1	Attributs dimensionnels et méthodes de mesure	54
Tableau 2	Exigences dimensionnelles communes aux fibres de catégorie A1	54
Tableau 3	Attributs dimensionnels supplémentaires exigés dans les spécifications de sous-catégories	54
Tableau 4	Attributs mécaniques et méthodes de mesure	55
Tableau 5	Exigences mécaniques communes aux fibres de catégorie A1	55

Tableau 6 – Attributs de transmission et méthodes de mesure	56
Tableau 7 – Attributs de transmission supplémentaires exigés dans les spécifications de sous-catégories	56
Tableau 8 – Essais d'exposition à l'environnement	58
Tableau 9 – Attributs mesurés pour les essais d'environnement	58
Tableau 10 – Force de dénudage pour les essais d'environnement.....	58
Tableau 11 – Résistance à la traction pour les essais d'environnement	59
Tableau 12 – Résistance à la corrosion sous contrainte pour les essais d'environnement	59
Tableau 13 – Variation de l'affaiblissement pour les essais d'environnement.....	59
Tableau A.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres A1a.....	61
Tableau A.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres A1a.....	61
Tableau A.3 – Exigences de transmission spécifiques aux fibres A1a.....	62
Tableau B.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres A1b.....	64
Tableau B.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres A1b.....	64
Tableau B.3 – Exigences de transmission spécifiques aux fibres A1b.....	65
Tableau C.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres A1d.....	66
Tableau C.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres A1d.....	66
Tableau C.3 – Exigences de transmission spécifiques aux fibres A1d.....	67
Tableau D.1 – Gabarits de DMD pour les fibres A1a.2.....	68
Tableau D.2 – Masques d'intervalles de DMD pour les fibres A1a.2.....	70
Tableau D.3 – Pondérations de DMD	71
Tableau D.4 – Gabarits de DMD pour les fibres A1a.3	73
Tableau D.5 – Masques d'intervalles de DMD pour les fibres A1a.3.....	73
Tableau D.6 – Pondération de DMD pour OMB _C	74
Tableau F.1 – Explication de la nomenclature des largeurs de bande	80
Tableau H.1 – Exemples d'applications normalisées supportées par les fibres A1a et dans certains cas par les fibres A1b	83
Tableau H.2 – Correspondance entre l'ISO/IEC 11801 et le présent document	84
Tableau I.1 – Aperçu des exigences et des capacités de l'Ethernet 1 Gb/s, 10 Gb/s, 25 Gb/s, 40 Gb/s et 100 Gb/s.....	86

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 sixième édition annule et remplace la cinquième édition parue en 2015 dont elle constitue une révision technique.

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

- a) ajout du modèle A1a.4 de fibre qui supporte des systèmes de transmission à une seule ou plusieurs longueurs d'onde au voisinage de 850 nm à 950 nm.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
86A/1771/CDV	86A/1794/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.

Ce document a été rédigé 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 ce document 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 au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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 des sous-catégories A1a, A1b et A1d. Ces fibres sont utilisées ou peuvent être intégrées dans des équipements destinés à la transmission de l'information et dans des câbles à fibres optiques.

La sous-catégorie A1a s'applique aux fibres à gradient d'indice de 50/125 μm . Il existe quatre classes de largeur de bande, appelées modèles A1a.1, A1a.2, A1a.3 et A1a.4. Chacune de ces classes de largeur de bande est définie pour deux niveaux de performances en matière de pertes par macrocourbures, qui se distinguent par le suffixe "a" ou "b". Les modèles qui comportent le suffixe "a" sont spécifiés de façon à satisfaire aux niveaux de performances classiques en matière de pertes par macrocourbures. Les modèles qui comportent le suffixe "b" sont spécifiés de façon à satisfaire aux niveaux de performances avancées en matière de pertes par macrocourbures (c'est-à-dire des niveaux de pertes plus faibles). Le modèle A1a.4 supporte des systèmes de transmission à une seule ou plusieurs longueurs d'onde au voisinage de 850 nm à 950 nm.

La sous-catégorie A1b s'applique aux fibres à gradient d'indice de 62,5/125 μm et la sous-catégorie 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 le présent document et qui sont données à l'Article 5;
- des exigences particulières applicables à des sous-catégories et des modèles particuliers de fibres ou à des applications spécifiques, qui sont définies dans les annexes de spécifications normatives.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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: Mesures 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, *Fibres optiques – Partie 1-47: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Pertes par macrocourbures*

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 60793-2:2015, *Fibres optiques – Partie 2: Spécifications de produits – Généralités*

IEC 61280-4-1:2009, *Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication à fibres optiques – Partie 4-1: Installations câblées – Mesure de l'affaiblissement en multimodal*

3 Termes et définitions

Aucun terme n'est défini dans le présent document.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

4 Termes abrégés

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)
EMB _c	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)
OMB _c	overfilled launch modal bandwidth calculated from differential mode delay (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)

5 Spécifications

5.1 Généralités

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 60793-2:2015, 5.1.

Le terme "verre" se réfère habituellement à des matériaux constitués d'oxydes non métalliques.

5.2 Exigences dimensionnelles

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

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

Le Tableau 3 énumère les attributs supplémentaires qui doivent être indiqués par chaque spécification de sous-catégorie.

Tableau 1 – Attributs dimensionnels et méthodes de mesure

Attributs	Méthodes 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 de spécimen d'essai de $2,0 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$ et une valeur de seuil, k_{CORE} , de 0,025 pour les fibres A1, à l'exception des fibres A1a.1b/2b/3b/4b. ^b Le diamètre du cœur est spécifié à $850 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$ avec une longueur de spécimen d'essai de $100 \text{ m} \pm 5 \%$ et une valeur de seuil, k_{CORE} , de 0,025 pour les fibres A1a.1b/2b/3b/4b.	

Tableau 2 – Exigences dimensionnelles communes aux fibres de catégorie A1

Attributs	Unité	Limites
Non-circularité du cœur	%	≤ 6
Diamètre du revêtement primaire – incolore ^a	μm	245 ± 10
Diamètre du revêtement primaire – coloré ^a	μm	250 ± 15
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	μm	$\leq 12,5$
Longueur de fibre	km	^b
^a Les limites 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		
^b Les exigences de longueurs varient et il convient qu'elles fassent l'objet d'un accord entre fournisseur et client.		

Tableau 3 – Attributs dimensionnels supplémentaires exigés dans les spécifications de sous-catégories

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

5.3 Exigences mécaniques

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

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

Tableau 4 – Attributs mécaniques et méthodes de mesure

Attributs	Méthodes d'essais
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

Attributs	Unité	Limites
Niveau de contrainte d'épreuve	GPa	$\geq 0,69^a$
Force de dénudage moyenne ^b	N	$1,0 \leq F_{avg} \leq 5,0$
Force de dénudage de crête ^b	N	$1,0 \leq F_{peak} \leq 8,9$
Résistance à la traction (moyenne) pour une longueur de spécimen 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 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.		

5.4 Exigences de transmission

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

Le Tableau 7 énumère les attributs supplémentaires qui doivent être indiqués par chaque spécification de sous-catégorie.

Tableau 6 – Attributs de transmission et méthodes de mesure

Attributs	Méthodes 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 par macrocourbures	IEC 60793-1-47
Differential mode delay ^e	IEC 60793-1-49
^a Pour la largeur de bande modale, soit l'injection saturée (OFL), soit la largeur de bande modale à injection saturée calculée à partir du retard de mode différentiel (OMBc), peut être utilisée. L'OMBc est la méthode d'essai de référence pour les fibres A1a.1/2/3 à 850 nm et la méthode exigée pour les fibres A1a.4 à 850 nm et 953 nm. ^b La largeur de bande modale 850 nm est spécifiée avec une longueur de spécimen d'essai de 1 000 m ± 5 % pour les fibres A1a.2/3/4. Pour les fibres A1a.2, la largeur de bande modale 850 nm est mesurée à 850 nm ± 10 nm. Pour les fibres A1a.3 et A1a.4, la largeur de bande modale 850 nm est mesurée à 850 nm ± 2 nm. Pour les fibres A1a.4, la largeur de bande modale est également mesurée à 953 nm ± 6 nm. ^c L'ouverture numérique est spécifiée à 850 nm ± 10 nm avec une longueur de spécimen 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/4b. ^d L'ouverture numérique est spécifiée à 850 nm ± 10 nm avec une longueur de spécimen d'essai de 100 m ± 5 % et une valeur de seuil, k_{NA}, de 0,05 pour les fibres A1a.1b/2b/3b/4b. ^e Le retard de mode différentiel est spécifié avec une longueur de spécimen d'essai de 1 000 m ± 5 % pour les fibres A1a.2/3/4. Pour les fibres A1a.2, le retard de mode différentiel est mesuré à 850 nm ± 10 nm. Pour les fibres A1a.3 et A1a.4, le retard de mode différentiel est mesuré à 850 nm ± 2 nm. Pour les fibres A1a.4, le retard de mode différentiel est également mesuré à 953 nm ± 6 nm.	

La conformité à la spécification relative à la dispersion chromatique peut être assurée par la conformité à la spécification relative à l'ouverture numérique pour les fibres A1.

Tableau 7 – Attributs de transmission supplémentaires exigés dans les spécifications de sous-catégories

Attributs
Affaiblissement linéique
Largeur de bande modale
Dispersion chromatique
Ouverture numérique
Pertes par macrocourbures

Pour l'affaiblissement linéique et la largeur de bande modale, les spécifications de sous-catégories peuvent contenir des plages de valeurs qui peuvent être choisies par spécification au lieu des limites fixées. Dans ce cas, les valeurs réelles de l'affaiblissement linéique maximal et de la largeur de bande modale minimale, à 850 nm et à 1 300 nm (ou à une seule 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.

Le Tableau H.1 donne des recommandations sur un certain nombre d'applications normalisées supportées par des fibres A1, et le Tableau H.2 donne les correspondances

entre les catégories de fibres optiques câblées de l'ISO/IEC 11801-1¹ et les sous-catégories de fibres A1a et A1b du présent document.

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 le présent document.

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. Il est entendu que 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 représentée à la Figure 1, en fonction du paramètre d'indice de réfraction, g , (voir l'IEC 60793-2:2015, 5.1). Des figures similaires sont données dans les publications [26]², page 50, et [27], page 255. 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 largeur de bande de 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 (c'est-à-dire à l'extérieur de la région ombrée).

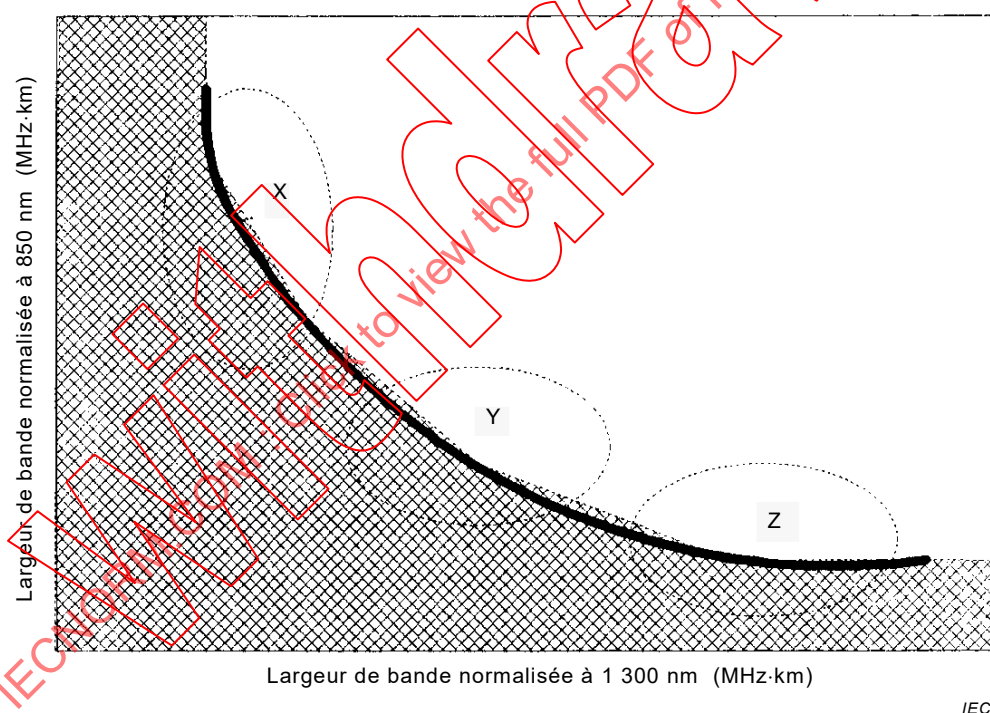


Figure 1 – Relation entre les largeurs de bande à 850 nm et à 1 300 nm

5.5 Exigences environnementales

5.5.1 Généralités

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

¹ En préparation. Stade au moment de la publication: ISO/IEC RFDIS 11801-1:2017.

² Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

- les attributs d'environnement et les procédures d'essai applicables sont donnés dans le Tableau 8;
- les mesures d'un attribut mécanique ou de transmission particulier 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.

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

5.5.2.1 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, la force de dénudage, la résistance à la traction et la résistance à la corrosion sous contrainte prescrites.

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

5.5.2.3 Résistance à la traction

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

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

Environnement	Longueur du spécimen pour la résistance à la traction médiane: 0,5 m GPa	Longueur de spécimen pour la résistance à la traction à 15 %: 0,5 m GPa
Chaleur humide	≥ 3,03	≥ 2,76
NOTE Ces exigences ne s'appliquent pas aux fibres sous revêtement hermétique.		

5.5.2.4 Résistance à la corrosion sous contrainte

Les attributs suivants doivent être vérifiés après 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.	

5.5.3 Exigences d'environnement pour la transmission

La variation d'affaiblissement par rapport à la valeur initiale doit être inférieure aux valeurs du Tableau 13. L'affaiblissement doit être mesuré de manière périodique au cours de toute la durée d'exposition, 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	≤ 0,20
	1 300	≤ 0,20
Chaleur sèche	850	≤ 0,20
	1 300	≤ 0,20
Variations de température	850	≤ 0,20
	1 300	≤ 0,20
Immersion dans l'eau	850	≤ 0,20
	1 300	≤ 0,20

Annexe A (normative)

Spécifications pour les fibres multimodales de la sous-catégorie A1a

A.1 Généralités

L'Annexe A contient les exigences particulières applicables aux fibres de la sous-catégorie A1a. Les exigences communes, rappelées pour faciliter la référence par rapport à la spécification intermédiaire, sont notées par une entrée dans la colonne "Référence". La colonne "Référence" contient également d'autres annexes présentant des informations applicables à l'attribut. Les notes correspondantes de la spécification intermédiaire ne sont pas répétées, mais indiquées à l'aide d'un exposant "SS".

La sous-catégorie A1a s'applique aux fibres à gradient d'indice de 50/125 μm . Il existe quatre classes de largeur de bande, appelées modèles A1a.1, A1a.2, A1a.3 et A1a.4. Tous les modèles sont spécifiés en utilisant des valeurs de largeur de bande saturée, et les modèles A1a.2, A1a.3 et A1a.4 s'appliquent également aux mesures du retard de mode différentiel pour offrir des performances optimisées pour des lasers proches de 850 nm. En outre le modèle A1a.4 spécifie à la fois les valeurs de largeur de bande saturée et du retard de mode différentiel à 953 nm pour offrir des performances optimisées pour les lasers sur une plage de longueurs d'onde au voisinage de 850 nm à 950 nm. Le modèle A1a.2 est conforme aux spécifications du modèle A1a.1. Le modèle A1a.3 est conforme aux spécifications du modèle A1a.2. Le modèle A1a.4 est conforme aux spécifications du modèle A1a.3.

Les modèles A1a.1, A1a.2, A1a.3 et A1a.4 sont également spécifiés pour deux niveaux de performances en matière de pertes par macrocourbures, qui se distinguent par le suffixe "a" ou "b". Ceux qui comportent le suffixe "a" (c'est-à-dire A1a.1a, A1a.2a, A1a.3a et A1a.4a) sont spécifiés de façon à satisfaire aux niveaux de performances classiques en matière de pertes par macrocourbures. Ceux qui comportent le suffixe "b" (c'est-à-dire A1a.1b, A1a.2b, A1a.3b et A1a.4b) sont spécifiés de façon à satisfaire aux niveaux de performances avancées en matière de pertes par macrocourbures (c'est-à-dire des niveaux de perte plus faibles) et sont donc conformes aux performances classiques en matière de pertes par macrocourbures.

La nomenclature utilisée pour la sous-catégorie A1a établit une hiérarchie de codage qui permet de désigner des fibres de spécificité croissante. Par exemple, des bons de commande de fibres A1a peuvent être rédigés en suivant n'importe lequel des modèles spécifiés à l'Annexe A, tandis que les bons de commande de fibres A1a.2 peuvent être rédigés en suivant la spécification A1a.2a ou A1a.2b. Par conséquent, lorsque les spécifications et les descriptions s'appliquent à tous les modèles à des niveaux hiérarchiques plus bas, seule la partie commune du nom est indiquée.

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 A1a.

Tableau A.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres A1a

Attributs	Unité	Limites	Référence
Diamètre de la gaine	µm	125 ± 1	
Non-circularité de la gaine	%	≤ 1	
Diamètre du noyau ^{SS}	µm	50 ± 2,5	
Erreur de concentricité entre le cœur et la gaine	µm	≤ 2	
Non-circularité du cœur	%	≤ 6	5.2
Diamètre du revêtement primaire – incolore ^{SS}	µm	245 ± 10	5.2
Diamètre du revêtement primaire – coloré ^{SS}	µm	250 ± 15	5.2
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	µm	≤ 12,5	5.2
Longueur	km	(voir 5.2)	5.2
^{SS} Voir les notes du corps de la présente spécification intermédiaire.			

A.3 Exigences mécaniques

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

Tableau A.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres A1a

Attributs	Unité	Limites	Référence
Niveau de contrainte d'épreuve ^{SS}	GPa	≥ 0,69	5.3
Force de dénudage moyenne ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{avg} \leq 5,0$	5.3
Force de dénudage de crête ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{peak} \leq 8,9$	5.3
^{SS} Voir les notes du corps de la présente spécification intermédiaire.			

A.4 Exigences de transmission

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

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

Attributs			Unité	Limites				Référence	
Modèle de fibre				A1a.1	A1a.2	A1a.3	A1a.4		
Longueur(s) d'onde de fonctionnement cible(s) ^a			nm	850			850 à 950	Annexe E	
Affaiblissement linéique maximal à 850 nm			dB/km	2,5					
Affaiblissement linéique maximal à 953 nm			dB/km	Non spécifiées			1,8		
Affaiblissement linéique maximal à 1 300 nm			dB/km	0,8					
Produit longueur-largeur de bande modale minimale pour injection saturée à 850 nm ^{SS}			MHz·km	500	1 500	3 500	3 500 Conforme à l'Article D.5		
Produit longueur-largeur de bande modale minimale pour injection saturée à 953 nm ^{SS}			MHz·km	Non spécifiées			1 850 Conforme à l'Article D.5		
Produit longueur-largeur de bande modale minimale pour injection saturée à 1 300 nm			MHz·km	500					
Produit longueur-largeur de bande modale effective minimale à 850 nm ^{SS}			MHz·km	Non spécifiées	2 000 Conforme à D.1 ou D.2	4 700 Conforme à D.3 ou D.4	4 700 Conforme à l'Article D.5	Annexes D, E, F, G	
Produit longueur-largeur de bande modale effective minimale à 953 nm ^{SS}			MHz·km	Non spécifiées			2 470 Conforme à l'Article D.5	Annexes D, E, F, G	
Ouverture numérique ^{SS}			Sans dimension	0,200 ± 0,015					
Pertes maximales par macrocourbures ^b	Rayon de courbure	Nombre de tours	dB	A1a.1a	A1a.2a	A1a.3a	A1a.4a		
				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	A1a.4b		
				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	$1\,295 \leq \lambda_0 \leq 1\,340$ ^c			$1\,297 \leq \lambda_0 \leq 1\,328$ ^d		
Pente de dispersion nulle, S_0			ps/nm ² . km	$S_0 \leq 0,105$ de $1\,295 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,310 \text{ nm}$, et $\leq 0,000\,375 (1\,590 - \lambda_0)$ de $1\,310 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1\,340 \text{ nm}$ ^c			$S_0 \leq 4 (-103) / (840 (1 - (\lambda_0/840)^4))$		

^a Les longueurs d'onde de fonctionnement cibles sont données à titre d'information uniquement.

^b La condition d'injection pour la mesure des pertes par macrocourbures doit satisfaire à celle décrite dans l'IEC 61280-4-1.

^c 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 $-104 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$.

^d Les coordonnées qui génèrent la dispersion la plus défavorable pour des longueurs d'onde de fonctionnement entre 840 nm et 1 000 nm sont $\lambda_0 = 1\,328 \text{ nm}$, $S_0 = 0,093\,477 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$. Le coefficient de dispersion chromatique le plus défavorable à 850 nm est $-98,5 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$.

^{SS} Voir les notes du corps de la présente spécification intermédiaire.

A.5 Exigences environnementales

Les exigences de 5.5 doivent être satisfaites.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-2-10:2017

Withdrawn

Annexe B (normative)

Spécifications pour les fibres multimodales de la sous-catégorie A1b

B.1 Généralités

L'Annexe B contient les exigences particulières applicables aux fibres 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".

Une fibre de la sous-catégorie A1b est une fibre à gradient d'indice de $62,5/125 \mu\text{m}$.

B.2 Exigences dimensionnelles

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

Tableau B.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres A1b

Attributs	Unité	Limites	Référence
Diamètre de la gaine	μm	125 ± 2	
Non-circularité de la gaine	%	≤ 2	
Diamètre du noyau ^{SS}	μm	$62,5 \pm 3$	
Erreur de concentricité entre le cœur et la gaine	μm	≤ 3	
Non-circularité du cœur	%	≤ 6	5.2
Diamètre du revêtement primaire – incolore ^{SS}	μm	245 ± 10	5.2
Diamètre du revêtement primaire – coloré ^{SS}	μm	250 ± 15	5.2
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	μm	$\leq 12,5$	5.2
Longueur ^{SS}	km	(voir 5.2)	5.2
^{SS} Voir les notes du corps de la présente spécification intermédiaire.			

B.3 Exigences mécaniques

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

Tableau B.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres A1b

Attributs	Unité	Limites	Référence
Niveau de contrainte d'épreuve ^{SS}	GPa	$\geq 0,69$	5.3
Force de dénudage moyenne ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{avg}} \leq 5,0$	5.3
Force de dénudage de crête ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{peak}} \leq 8,9$	5.3
^{SS} Voir les notes du corps de la présente spécification intermédiaire.			

B.4 Exigences de transmission

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

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

Attributs	Unité	Limites	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 ^{SS}	Sans dimension	0,275 ± 0,015	
Pertes maximales par macrocourbures 100 tours sur un rayon de courbure de 37,5 mm à des longueurs d'onde 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 par macrocourbures doit satisfaire à celle décrite dans l'IEC 61280-4-1. ^b Le coefficient de dispersion chromatique le plus défavorable à 850 nm ($S_0 = 0,11$ ps/nm ² ·km à $\lambda_0 = 1\,348$ nm) est de –125 ps/nm·km. ^{SS} Voir les notes du corps de la présente spécification intermédiaire.			

B.5 Exigences environnementales

Les exigences de 5.5 doivent être satisfaites.

Annexe C (normative)

Spécifications pour les fibres multimodales de la sous-catégorie A1d

C.1 Généralités

L'Annexe C contient les exigences particulières applicables aux fibres 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".

Une fibre de la sous-catégorie 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 A1d.

Tableau C.1 – Exigences dimensionnelles spécifiques aux fibres A1d

Attributs	Unité	Limites	Référence
Diamètre de la gaine	μm	140 ± 4	
Non-circularité de la gaine	%	≤ 4	
Diamètre du noyau ^{SS}	μm	100 ± 5	
Erreur de concentricité entre le cœur et la gaine	μm	≤ 6	
Non-circularité du cœur	%	≤ 6	5.2
Diamètre du revêtement primaire – incolore ^{SS}	μm	245 ± 10	5.2
Diamètre du revêtement primaire – coloré ^{SS}	μm	250 ± 15	5.2
Erreur de concentricité gaine-revêtement primaire	μm	$\leq 12,5$	5.2
Longueur ^{SS}	km	(voir 5.2)	5.2
^{SS} Voir les notes du corps de la présente spécification intermédiaire.			

C.3 Exigences mécaniques

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

Tableau C.2 – Exigences mécaniques spécifiques aux fibres A1d

Attributs	Unité	Limites	Référence
Niveau de contrainte d'épreuve ^{SS}	GPa	$\geq 0,69$	5.3
Force de dénudage moyenne ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{avg}} \leq 5,0$	5.3
Force de dénudage de crête ^{SS}	N	$1,0 \leq F_{\text{peak}} \leq 8,9$	5.3
^{SS} Voir les notes du corps de la présente spécification intermédiaire.			

C.4 Exigences de transmission

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

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

Attributs	Unité	Limites	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	
Largeur de bande modale minimale à 1 300 nm ^a	MHz·km	100 à 300	
Ouverture numérique ^{ss}	Sans dimension	0,26 ± 0,03 ou 0,29 ± 0,03	
Pertes maximales par macrocourbures	dB	Fera l'objet d'une étude ultérieure	
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 $\leq 0,000\,5 (1\,575 - \lambda_n)$	
^a La colonne "Limites" forme une plage de valeurs qui peuvent être spécifiées. ^b Le coefficient de dispersion chromatique le plus défavorable à 850 nm ($S_n = 0,105 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ à $\lambda_n = 1\,365 \text{ nm}$) est de $-126 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$. ^{ss} Voir les notes du corps de la présente spécification intermédiaire.			

C.5 Exigences environnementales

Les exigences de 5.5 doivent être satisfaites.

Annexe D (normative)

Exigences concernant le retard de mode différentiel (DMD) de la fibre, la largeur de bande modale effective calculée (EMB_c) et la largeur de bande modale saturée calculée (OMB_c)

D.1 Exigences relatives au DMD pour les fibres A1a.2

D.1.1 Généralités

Les fibres A1a.2 choisies en utilisant la méthode du masque de DMD doivent satisfaire aux exigences de D.1.2 et D.1.3. Les limites radiales, R_{INNER} et R_{OUTER} , ont été établies pour des émetteurs conformes aux exigences de l'Article E.4.

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

D.1.2 Gabarits de DMD

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

Les exigences sur le DMD de D.1.2 sont représentées à la Figure D.1. Dans cette figure, le DMD autorisé (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).

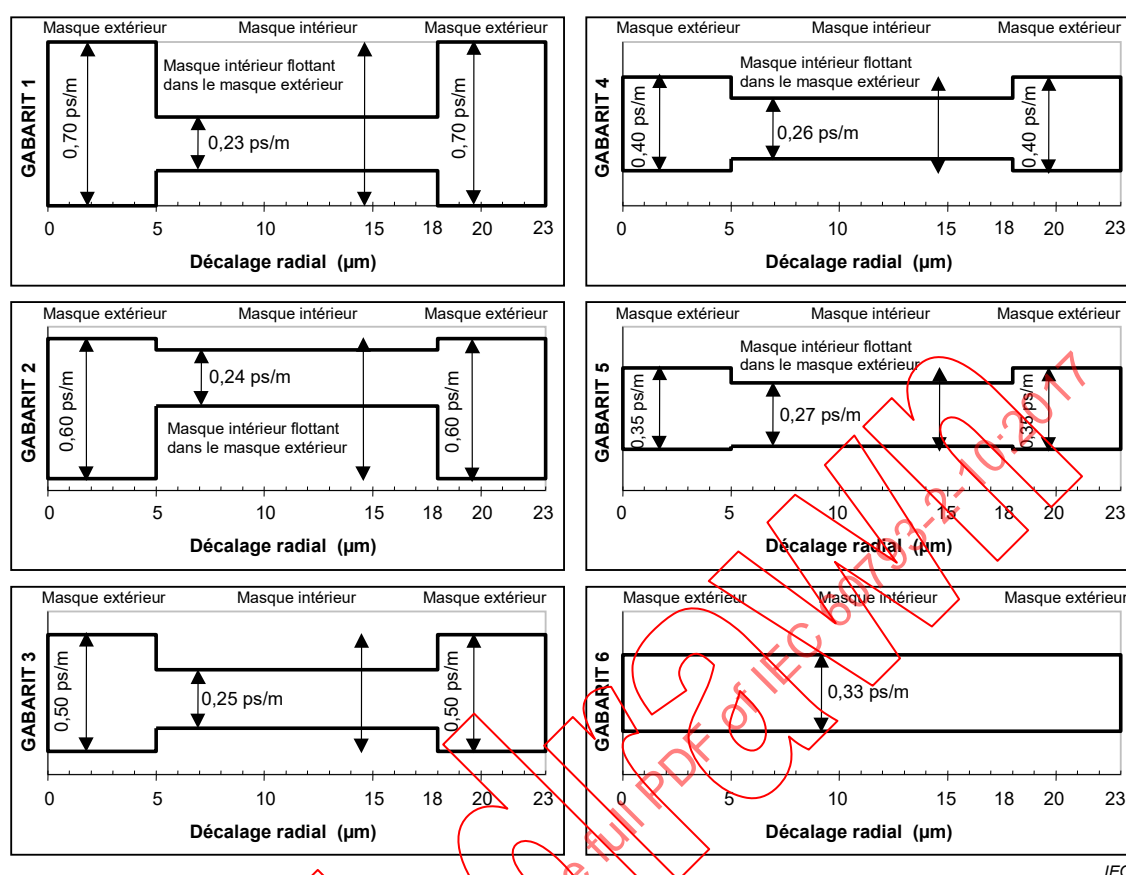


Figure D.1 – Exigences relatives aux gabarits de DMD

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

L'IEC 60793-1-49 peut être utilisée pour garantir un produit longueur-largeur de bande modale effective minimale, lorsque des sources ayant des restrictions appropriées sont utilisées. Lorsque les exigences de condition d'injection concernant les émetteurs sont couplées aux exigences sur le DMD pour 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 sur les fibres et les sources donneront un produit longueur-largeur de bande modale effective minimale de $2\ 000\ \text{MHz}\cdot\text{km}$ [1 à 12].

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 condition d'injection de l'émetteur est limitée par les exigences sur le flux inscrit en $4,5\ \mu\text{m}$ et $19\ \mu\text{m}$ exposées à l'Article E.4. La limitation concernant le flux inscrit de l'émetteur au rayon de $4,5\ \mu\text{m}$ assure que très peu d'énergie est transportée par les modes d'ordres plus faibles 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 $19\ \mu\text{m}$ assure que très peu d'énergie est transportée par les modes d'ordres plus élevés 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_{INNER} μm	R_{OUTER} μm
1	7	13
2	9	15
3	11	17
4	13	19

Ces masques d'intervalle éliminent les fibres possédant un DMD variant trop rapidement sur de courtes plages radiales. Les fibres réussissant cette sélection ont une interférence intersymbole plus faible que celles qui ne la réussissent pas.

D.2 Exigences relatives à l'EMB_c des fibres A1a.2

D.2.1 Généralités

Les fibres 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 d'EMB_c. La valeur minimale de l'EMB_c (minEMB_c) dans cet ensemble doit satisfaire à l'exigence de l'Equation (D.1):

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

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, et il est possible que la valeur ne soit pas optimale pour être utilisée dans les modèles de système. Voir l'Annexe E pour toute information concernant le paramètre système correspondant appelé "largeur de bande modale effective" (EMB) et sa relation avec l'EMB_c.

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.4.

Tableau D.3 – Pondérations de DMD

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

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	0,386 891	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 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_{INNER} et R_{OUTER} , ont été établies pour des émetteurs conformes aux exigences de l'Article E.4.

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

D.3.2 Gabarits de DMD

Les fibres 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 $R_{\text{INNER}} = 5 \mu\text{m}$ à $R_{\text{OUTER}} = 18 \mu\text{m}$	Masque extérieur de DMD (ps/m) pour $R_{\text{INNER}} = 0 \mu\text{m}$ à $R_{\text{OUTER}} = 23 \mu\text{m}$
1	$\leq 0,10$	$\leq 0,30$
2	$\leq 0,11$	$\leq 0,17$
3	$\leq 0,14$	$\leq 0,14$

D.3.3 Masques d'intervalle de DMD

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

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

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

D.4 Exigences relatives à l'EMB_c des fibres A1a.3**D.4.1 Généralités**

Les fibres A1a.3 choisies à l'aide de la méthode de l'EMB_c doivent satisfaire aux exigences de D.4.2. Les informations liées sont données dans le texte d'introduction du Tableau D.3 en D.2.2.

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 d'EMB_c. La valeur minimale de l'EMB_c (minEMB_c) dans cet ensemble doit satisfaire à l'exigence de l'Equation (D.2).

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

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.

D.5 Exigences relatives à la largeur de bande modale des fibres A1a.4**D.5.1 Généralités**

Les fibres A1a.4 doivent satisfaire aux exigences de D.5.2 et D.5.3. Les informations liées sont données dans le texte d'introduction du Tableau D.3 en D.2.2.

D.5.2 Largeur de bande modale effective calculée

Les formes d'impulsion optique de DMD doivent être pondérées par un ensemble de distributions d'injection pour déterminer un ensemble correspondant de valeurs d'EMB_c. La valeur minimale de l'EMB_c (minEMB_c) dans cet ensemble doit satisfaire aux exigences des Equations (D.3) et (D.4):

$$\text{minEMB}_c \geq 4\,160 \text{ MHz}\cdot\text{km à } 850 \text{ nm} \quad (\text{D.3})$$

$$\text{minEMB}_c \geq 2\,190 \text{ MHz}\cdot\text{km à } 953 \text{ nm} \quad (\text{D.4})$$

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.

D.5.3 Largeur de bande modale saturée calculée

Les formes d'impulsion optique de DMD doivent être pondérées par la distribution d'injection pour déterminer une valeur d'OMB_c correspondante à 850 nm et 953 nm. Les pondérations du Tableau D.6 sont les mêmes que celles de l'IEC 60793-1-41 pour la méthode C.

Tableau D.6 – Pondération de DMD pour OMB_c

Position radiale, <i>r</i> μm	Pondération d'OFL
0	0
1	0,000 73
2	0,001 57
3	0,002 53
4	0,003 62
5	0,004 87
6	0,006 31
7	0,007 95
8	0,009 83
9	0,011 98
10	0,014 43
11	0,017 25
12	0,020 46
13	0,024 14
14	0,028 36
15	0,033 17
16	0,038 69
17	0,045 00
18	0,052 21
19	0,060 47
20	0,069 92
21	0,080 73
22	0,093 10
23	0,107 25
24	0,123 45
25	0,141 97

Annexe E (informative)

Considérations sur les systèmes, la largeur de bande modale et les émetteurs

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 structure 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 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 de mode du laser injecté dans la fibre. Pour générer une estimation fiable de la largeur de bande lorsque la réponse impulsionnelle n'est pas gaussienne, la largeur de bande à 3 dB est remplacée par une extrapolation de la largeur de bande à $1,5$ dB.

La connaissance de la structure des modes 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. La technique de la valeur minimale de l' EMB_c ($minEMB_c$) présentée à l'Article E.3 sélectionne la fibre avec 10 lasers simulés qui explorent la distribution de puissance du mode observé; l'ensemble de 10 lasers simulés est considéré prudent par rapport aux lasers disponibles dans le commerce, mais plus restreint que l'ensemble de lasers théoriques du modèle TIA original représenté à la Figure E.2 [11]. Les lasers choisis présentent différentes caractéristiques de distribution de puissance du mode couplé: pour certains la puissance est davantage concentrée dans les modes d'ordres faibles, pour d'autres elle est davantage concentrée dans les modes d'ordres élevés, et pour d'autres encore elle est davantage concentrée dans les modes d'ordres faibles et élevés.

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]. Des spécifications de condition d'injection choisies de manière adéquate peuvent restreindre les modes de la fibre utilisée par les émetteurs principalement à ceux dont les retards différentiels de propagation sont limités de manière appropriée.

Un produit longueur-largeur de bande modale minimale peut être assuré en combinant un émetteur satisfaisant aux spécifications de l'Article E.4 ci-dessous avec une fibre de $50\ \mu\text{m}$ satisfaisant aux spécifications de l'Annexe D.

E.2 Considérations sur les systèmes

E.2.1 Fibres A1a.2 et A1a.3

Se reporter à l'Article E.3.

E.2.2 Fibre A1a.4

Des spécifications de fibres pour des systèmes à haut débit de données ont été développées en utilisant des modèles de liaison [28]. Les modèles 10Gb/s et 25Gb/s sont construits sur le modèle de liaison à 1Gb/s [28] qui inclut deux exigences: la marge ou pénalité de puissance est positive et l'interférence intersymbole (ISI) est inférieure à $3,6$ dB.

Les spécifications de fibres A1a.4 ont été développées à l'aide de modèles de liaison sous Excel pour le modèle de liaison IEEE 100GBASE-SR4 (le modèle "Example MMF Link Model.xls" [24]) et pour le modèle de liaison Fibre Channel 32GFC (le modèle

"T11-12-376v0.xlsx" [25]). Les modèles de liaison étaient utilisés pour déterminer les exigences relatives à la largeur de bande sur la plage de longueurs d'onde de 840 nm à 953 nm. Les longueurs d'onde des modèles ont subi des variations à l'intérieur de cette plage. Dans les modèles de liaison, les paramètres de dispersion U_0 (longueur d'onde de dispersion nulle) et S_0 (pente de dispersion nulle) ont été ajustés aux nouvelles valeurs de 1 328 nm et 0,093 477 ps/nm²km basées sur des résultats interlaboratoires, et l'affaiblissement des fibres câblées est passé de 3,5 dB/km à 3,0 dB/km. Les marges des deux modèles de liaison sont limitées sur la plage de longueurs d'onde allant de 840 nm à 953 nm (contrairement au modèle IEEE P802.3ae 10GBASE-S [13] utilisé pour les fibres OM3, dont l'interférence intersymbole est limitée à une valeur inférieure ou égale à 3,6 dB), et la largeur de bande modale effective (EMB) dans le modèle de liaison a été ajustée pour atteindre une marge de 0,000 dB. Pour établir la spécification sur la largeur de bande modale effective, il a été convenu d'utiliser le modèle de liaison 32GFC avec une marge nulle parce que les exigences sur la largeur de bande modale effective sont supérieures à celles du modèle 100GBASE-SR4 (c'est-à-dire que les exigences sur la largeur de bande ont été choisies pour correspondre aux exigences des deux modèles de liaison des systèmes). Les spécifications normatives sur la largeur de bande modale effective sont 4 700 MHz·km à 850 nm et 2 470 MHz·km à 953 nm. Ces points sont représentés par des cercles dans la Figure E.1. Lorsque ces exigences sont satisfaites, la largeur de bande modale effective la plus défavorable attendue satisfait aux exigences du système, comme cela est expliqué à l'Article E.3.

E.3 Largeur de bande modale effective (EMB)

Au cours du développement du modèle 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 l'Article E.4 [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 intersymbole (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 modèle 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.1).

$$EMB = 1,13 \times \min EMB_c \quad (E.1)$$

L'EMB obtenue par l'Equation (E.1) s'applique également aux modèles de liaison Fibre Channel. 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.2).