

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60794-3

Troisième édition
Third edition
2001-09

Câbles à fibres optiques –

**Partie 3:
Spécification intermédiaire –
Câbles extérieurs**

Optical fibre cables –

**Part 3:
Sectional specification –
Outdoor cables**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60794-3:2001

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/catlg-f.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/JP.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/catlg-e.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/JP.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60794-3

Troisième édition
Third edition
2001-09

Câbles à fibres optiques –

**Partie 3:
Spécification intermédiaire –
Câbles extérieurs**

Optical fibre cables –

**Part 3:
Sectional specification –
Outdoor cables**

© IEC 2001 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	10
3 Termes et définitions	12
4 Symboles et abréviations	14
5 Fibre optique.....	14
5.1 Généralités	14
5.2 Affaiblissement	14
5.2.1 Affaiblissement linéique	14
5.2.2 Uniformité d'affaiblissement – Discontinuité d'affaiblissement	14
5.3 Longueur d'onde de coupure.....	14
5.4 Coloration des fibres.....	14
5.5 Dispersion de mode de polarisation (PMD).....	14
5.6 Longueur d'onde de coupure des câbles « jarretières »	16
6 Élément de câble	16
6.1 Revêtement secondaire serré ou revêtement protecteur	18
6.2 Fibre renforcée	18
6.3 Jonc rainuré.....	18
6.4 Tube	18
6.5 Ruban.....	18
7 Construction d'un câble à fibres optiques.....	20
7.1 Généralités.....	20
7.2 Assemblage des éléments de câble	22
7.3 Remplissage de l'âme du câble.....	22
7.4 Renfort de traction.....	24
7.5 Barrière contre l'humidité	24
7.6 Gaine de câble et armure.....	24
7.6.1 Gaine intérieure	24
7.6.2 Armure.....	26
7.6.3 Gaine extérieure	26
7.6.4 Protection extérieure des câbles pour traversée sous lacustre et sous fluviale.....	26
7.7 Marquage de la gaine	26
7.8 Hydrogène	26
8 Conditions d'installation et de fonctionnement.....	26
8.1 Généralités	26
8.2 Caractérisation des éléments de câble pour aptitude au raccordement	28
8.2.1 Essais généraux	28
8.2.2 Essais applicables aux tubes	28
8.2.3 Essais applicables aux rubans	28

CONTENTS

FOREWORD	7
1 Scope	11
2 Normative references.....	11
3 Terms and definitions.....	13
4 Symbols and abbreviations	15
5 Optical fibre	15
5.1 General.....	15
5.2 Attenuation	15
5.2.1 Attenuation coefficient.....	15
5.2.2 Attenuation uniformity – Attenuation discontinuities.....	15
5.3 Cut-off wavelength.....	15
5.4 Fibre colouring.....	15
5.5 Polarisation mode dispersion (PMD)	15
5.6 Jumper cable cut-off wavelength.....	17
6 Cable element.....	17
6.1 Tight secondary coating or buffer.....	19
6.2 Ruggedized fibre.....	19
6.3 Slotted core	19
6.4 Tube	19
6.5 Ribbon.....	19
7 Optical fibre cable construction.....	21
7.1 General.....	21
7.2 Lay-up of the cable elements	23
7.3 Cable core filling.....	23
7.4 Strength member.....	25
7.5 Moisture barrier	25
7.6 Cable sheath and armouring	25
7.6.1 Inner sheath.....	25
7.6.2 Armouring	27
7.6.3 Outer sheath.....	27
7.6.4 Outer protection of cables for lake and river crossings	27
7.7 Sheath marking.....	27
7.8 Hydrogen gas	27
8 Installation and operating conditions	27
8.1 General.....	27
8.2 Characterisation of cable elements for splicing purposes	29
8.2.1 General purpose tests.....	29
8.2.2 Tests applicable to tubes	29
8.2.3 Tests applicable to ribbons	29

9	Essais sur les câbles à fibres optiques.....	34
9.1	Résistance à la traction	34
9.2	Aptitude à l'installation.....	34
9.2.1	Courbure sous traction.....	34
9.2.2	Courbures répétées	34
9.2.3	Chocs	34
9.2.4	Pliure	34
9.2.5	Torsion	34
9.2.6	Pression hydrostatique.....	34
9.2.7	Performance de l'huile	36
9.2.8	Résistance à l'abrasion de la gaine	36
9.3	Pliage du câble	36
9.4	Ecrasement	36
9.5	Cycles de température	36
9.6	Vieillessement	36
9.6.1	Compatibilité du revêtement de la fibre	36
9.6.2	Câble terminé	36
9.7	Pénétration d'eau (pour câbles remplis uniquement).....	36
9.8	Résistance pneumatique (pour câbles non remplis uniquement)	38
9.9	Foudre (pour les câbles contenant des éléments métalliques)	38
9.10	Conditions spéciales d'installation aérienne	38
9.10.1	Vibration éolienne	38
9.10.2	Tenue aux plombs de chasse.....	38
10	Assurance de qualité	38
Annexe A (informative) Guide relatif à la spécification statistique de la dispersion		
	de mode de polarisation des câbles à fibres optiques.....	40
A.1	Remarques introductives.....	40
A.2	Appareillage.....	42
A.3	Échantillons d'essai.....	42
A.4	Procédure d'essai	42
A.5	Calculs.....	42
A.5.1	Concaténation des sections de câbles individuels.....	42
A.5.2	Méthode 1: Valeur de conception de PMD	44
A.5.3	Méthode 2: DGD maximal.....	50
A.5.4	Relation entre la PMD de liaison de la méthode 1 et la performance du système numérique.....	54
A.6	Résultats.....	56
A.6.1	Informations à fournir avec chaque essai	56
A.6.2	Informations devant être fournies sur demande.....	56
A.7	Documents de référence	58
	Figure 1 – Section droite d'un ruban de type collé bord à bord	20
	Figure 2 – Section droite d'un ruban de type encapsulé	20
	Figure 3 – Coupe illustrant la géométrie d'un ruban de fibre.....	30
	Figure A.1 – Enveloppes en équivalence utilisant gamma	54
	Tableau 1 – Dimensions maximales des rubans à fibres optiques.....	30

9	Optical fibre cable tests	35
9.1	Tensile performance	35
9.2	Installation capability	35
9.2.1	Bending under tension	35
9.2.2	Repeated bending	35
9.2.3	Impact	35
9.2.4	Kink	35
9.2.5	Torsion	35
9.2.6	Hydrostatic pressure	35
9.2.7	Coiling performance	37
9.2.8	Sheath abrasion resistance	37
9.3	Cable bend	37
9.4	Crush	37
9.5	Temperature cycling	37
9.6	Ageing	37
9.6.1	Fibre coating compatibility	37
9.6.2	Finished cable	37
9.7	Water penetration (for filled cables only)	37
9.8	Pneumatic resistance (for unfilled cables only)	39
9.9	Lightning (for cables containing metallic elements)	39
9.10	Special aerial installation conditions	39
9.10.1	Aeolian vibration	39
9.10.2	Shotgun resistance	39
10	Quality assurance	39
Annex A (informative) Guide to the statistical specification of polarisation mode dispersion of optical fibre cables		41
A.1	Introductory remarks	41
A.2	Apparatus	43
A.3	Test sample	43
A.4	Test procedure	43
A.5	Calculations	43
A.5.1	Concatenation of individual cable sections	43
A.5.2	Method 1: PMD design value	45
A.5.3	Method 2: Maximum DGD	51
A.5.4	Relation between method 1 link PMD and digital system performance	55
A.6	Results	57
A.6.1	Information to be provided with each test	57
A.6.2	Information to be provided upon request	57
A.7	Reference documents	59
Figure 1 – Cross-section of a typical edge-bonded ribbon		21
Figure 2 – Cross-section of a typical encapsulated ribbon		21
Figure 3 – Cross-sectional drawing illustrating fibre ribbon geometry		31
Figure A.1 – Equivalence envelopes using gamma		55
Table 1 – Maximum dimensions of optical fibre ribbons		31

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CÂBLES À FIBRES OPTIQUES –

Partie 3: Spécification intermédiaire – Câbles extérieurs

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60794-3 a été établie par le sous-comité 86A: Fibres et câbles, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition, parue en 1998, dont elle constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
86A/684/FDIS	86A/723/RVD

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

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

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

OPTICAL FIBRE CABLES –

**Part 3: Sectional specification –
Outdoor cables**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60794-3 has been prepared by subcommittee 86A: Fibres and cables, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

This third edition cancels and replaces the second edition, published in 1998, and constitutes a technical revision.

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

FDIS	Report on voting
86A/684/FDIS	86A/723/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

Annex A is for information only.

La CEI 60794 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Câbles à fibres optiques*:

- Partie 1-1: Spécification générique – Généralités
- Partie 1-2: Spécification générique – Procédures de base applicables aux essais des câbles optiques
- Partie 2: Spécification produit
- Partie 3: Spécification intermédiaire – Câbles extérieurs
- Partie 4-1: Câbles optiques aériens pour lignes électriques de haute tension

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2005. A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60794-3:2001

Withdrawing

IEC 60794 consists of the following parts under the general title *Optical fibre cables*:

- Part 1-1: Generic specification – General
- Part 1-2: Generic specification – Basic optical cable test procedures
- Part 2: Product specification
- Part 3: Sectional specification – Outdoor cables
- Part 4-1: Aerial optical cables for high-voltage power lines

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2005. At this date, the publication will be

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60794-3:2001

Withdrawn

CÂBLES À FIBRES OPTIQUES –

Partie 3: Spécification intermédiaire – Câbles extérieurs

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60794 spécifie les prescriptions relatives aux câbles et éléments à câbles à fibres optiques unimodales destinés, en premier lieu, à être utilisés dans les réseaux publics de télécommunication. Il peut être envisagé de considérer d'autres types d'applications nécessitant des câbles d'un type similaire.

Cette norme comporte les prescriptions concernant les câbles destinés à être installés dans des conduites, les câbles directement enterrés, les câbles aériens et les câbles pour traversée sous lacustre et sous fluviale.

Pour ce qui est des applications aériennes, cette norme ne couvre pas tous les aspects fonctionnels des câbles installés à proximité de lignes aériennes de transport d'énergie. De telles applications peuvent nécessiter l'adjonction de prescriptions et de méthodes d'essai. En outre, cette norme exclut les câbles de garde avec fibres optiques et les câbles liés aux conducteurs de phase ou de terre des lignes aériennes de transport d'énergie.

Pour les câbles pour traversée sous lacustre et sous fluviale, cette norme ne couvre pas les méthodes de réparation du câble, ni de capacité de réparation, et ne couvre pas les câbles utilisés dans les amplificateurs de lignes pour traversée sous lacustre et sous fluvial.

2 Références normatives

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

CEI 60189 (toutes les parties), *Câbles et fils pour basses fréquences isolés au PVC et sous gaine de PVC*

CEI 60304:1982, *Couleurs de référence de l'enveloppe isolante pour câbles et fils pour basses fréquences*

CEI 60708-1:1981, *Câbles pour basses fréquences à isolation polyoléfine et gaine polyoléfine à barrière d'étanchéité – Première partie: Constitution générale et prescriptions*

CEI 60793 (toutes les parties), *Fibres optiques*

CEI 60793-1-21:2001, *Fibres optiques – Partie 1-21: Mesures et procédures d'essai – Méthodes de mesures de la géométrie du revêtement*

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

CEI 60793-1-40:2001, *Fibres optiques – Partie 1-40: Méthodes de mesure de l'affaiblissement*

CEI 60793-1-44:2001, *Fibres optiques – Partie 1-44: Méthodes de mesure de la longueur d'onde de coupure*

OPTICAL FIBRE CABLES –

Part 3: Sectional specification – Outdoor cables

1 Scope

This part of IEC 60794 specifies the requirements of single-mode optical fibre cables and cable elements which are intended to be used primarily in public telecommunications networks. Other types of applications requiring similar types of cables can be considered.

Requirements for cables to be used in ducts, for directly buried application, aerial cables and cables for lake and river crossings are included in this standard.

For aerial application, this standard does not cover all functional aspects of cables installed in the vicinity of overhead power lines. In the case of such application, additional requirements and test methods may be necessary. Moreover, this standard excludes optical ground wires and cables attached to the phase or earth conductors of overhead power lines.

For cables for lake and river crossings, this standard does not cover methods of cable repair, nor repair capability, nor does it cover cables for use with underwater line amplifiers.

2 Normative references

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

IEC 60189 (all parts), *Low-frequency cables and wires with PVC insulation and PVC sheath*

IEC 60304:1982, *Standard colours for insulation for low-frequency cables and wires*

IEC 60708-1:1981, *Low-frequency cables with polyolefin insulation and moisture barrier polyolefin sheath – Part 1: General design details and requirements*

IEC 60793 (all parts), *Optical fibres*

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

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

IEC 60793-1-40:2001, *Optical fibres – Part 1-40: Attenuation measurement methods*

IEC 60793-1-44:2001, *Optical fibres – Part 1-44: Cut-off wavelength measurement methods*

CEI 60793-2:1998, *Fibres optiques – Partie 2: Spécifications de produits*

CEI 60794-1-1:1999, *Câbles à fibres optiques – Partie 1-1: Spécification générique – Généralités*

CEI 60794-1-2:1999, *Câbles à fibres optiques – Partie 1-2: Spécification générique – Procédures de base applicables aux essais de câbles optiques*

CEI 60811-5-1:1990, *Méthodes d'essai communes pour les matériaux d'isolation et de gainage des câbles électriques – Partie 5: Méthodes spécifiques pour les matières de remplissage – Section un: Point de goutte – Séparation d'huile – Fragilité à basse température – Indice d'acide total – Absence de composés corrosifs – Permittivité à 23 °C – Résistivité en courant continu à 23 °C et 100 °C*

CEI/TR 61282-3:2001, *Directives et procédures d'essai des systèmes pour tenir compte de la dispersion en mode polarisé (PMD) dans les systèmes analogiques et numériques à fibres optiques monomodales*

CEI/TS 61941:2000, *Fibres optiques – Techniques de mesure de la dispersion de mode de polarisation des fibres optiques unimodales*

UIT-T Recommandation K.25:2000, *Protection des câbles à fibres optiques*

3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 60794, les définitions et termes suivants s'appliquent.

3.1

retard de groupe différentiel, ps
DGD

retard de temps relatif entre les deux modes de polarisation fondamentaux (principaux états de polarisation) à l'extrémité d'un câble à fibres optiques, à une longueur d'onde et un moment particuliers

3.2

valeur de dispersion de mode de polarisation, ps
valeur de PMD

moyenne des valeurs de DGD au travers des longueurs d'onde

3.3

coefficient de dispersion de mode de polarisation, ps/√km
coefficient de PMD

valeur de PMD d'un câble à fibres optiques divisée par la racine carrée de sa longueur (km)

3.4

section de câble

enrouleur individuel de câble, conforme à la production

3.5

liaison

longueur de câble composée d'un nombre de sections de câbles individuels

NOTE Les valeurs de PMD de liaison sont généralement calculées selon les formules de cette norme, mais peuvent être mesurées.

IEC 60793-2:1998, *Optical fibres – Part 2: Product specifications*

IEC 60794-1-1:1999, *Optical fibre cables – Part 1-1: Generic specification – General*

IEC 60794-1-2:1999, *Optical fibre cables – Part 1-2: Generic specification – Basic optical cable test procedures*

IEC 60811-5-1:1990, *Common test methods for insulating and sheathing materials of electric cables – Part 5: Methods specific to filling compounds – Section 1: Drop point – Separation of oil – Lower temperature brittleness – Total acid number – Absence of corrosive components – Permittivity at 23 °C – DC resistivity at 23 °C and 100 °C*

IEC/TR 61282-3:2001, *Guidelines for the calculation of PMD in fibre optic systems*

IEC/TS 61941:2000, *Optical fibres – Polarization mode dispersion measurement techniques for single-mode optical fibres*

ITU-T Recommendation K.25:2000, *Protection of optical fibre cables*

3 Terms and definitions

For the purpose of this part of IEC 60794, the following terms and definitions apply.

3.1

differential group delay, ps
DGD

relative time delay between the two fundamental polarisation modes (principal states of polarisation) at the end of an optical fibre cable, at a particular time and wavelength

3.2

polarisation mode dispersion value, ps
PMD value

average of DGD values across wavelengths

3.3

polarisation mode dispersion coefficient, ps/√km
PMD coefficient

PMD value of an optical fibre cable divided by the square root of its length (km)

3.4

cable section

individual reel of cable, as produced

3.5

link

length of cable composed of a number of individual cable sections

NOTE Link PMD values are generally calculated according to the formulas in this standard but may be measured.

4 Symboles et abréviations

- λ_{cc} Longueur d'onde de coupure de la fibre câblée
 SZ Technique dans laquelle le sens de câblage est inversé périodiquement

5 Fibre optique

5.1 Généralités

Une fibre optique monomode correspondant aux prescriptions de la CEI 60793-2 doit être utilisée.

5.2 Affaiblissement

5.2.1 Affaiblissement linéique

L'affaiblissement linéique maximal typique d'un câble est fonction du ou des type(s) de fibre utilisé(s). Des valeurs typiques sont données en 5.1 de la CEI 60794-1-1. Toute autre valeur particulière doit être convenue entre l'utilisateur et le fabricant.

L'affaiblissement linéique doit être mesuré conformément à la méthode A, B ou C de la CEI 60793-1-40.

5.2.2 Uniformité d'affaiblissement – Discontinuité d'affaiblissement

L'affaiblissement local ne doit présenter aucune discontinuité supérieure à 0,10 dB. La méthode d'essai la plus convenable pour satisfaire aux prescriptions fonctionnelles est actuellement à l'étude.

5.3 Longueur d'onde de coupure

La longueur d'onde de coupure de fibre en câble, λ_{cc} , doit être inférieure à la longueur d'onde de fonctionnement.

5.4 Coloration des fibres

Si le revêtement primaire des fibres est coloré à des fins d'identification, le revêtement coloré doit être facilement identifiable pendant toute la durée de vie du câble et correspondre, dans toute la mesure du possible, à la CEI 60304. La coloration doit laisser pénétrer, si exigé, suffisamment de lumière à travers le revêtement primaire pour permettre l'injection et la détection locale de lumière. En variante, la coloration peut être enlevée pour cette application.

5.5 Dispersion de mode de polarisation (PMD)

La dispersion de mode de polarisation de la fibre câblée doit être spécifiée/caractérisée sur une base statistique et non sur la base d'une seule fibre comme décrite à l'annexe A. Les mesures sur les fibres câblées individuelles peuvent être réalisées par des méthodes de mesure de PMD reconnues par la CEI. Les mesures sur fibres non câblées peuvent être utilisées pour créer des statistiques de fibre câblée quand la conception et les procédés sont stables et les rapports entre les coefficients de PMD de fibres câblées et non câblées sont connus. Les prescriptions suivantes se rapportent uniquement à l'aspect de la liaison calculé à partir des informations sur le câble. Pour combiner ces informations avec d'autres parties de la liaison, tels que les composants et les amplificateurs optiques, il convient de faire référence à la CEI 61282-3.

4 Symbols and abbreviations

λ_{cc} Cabled fibre cut-off wavelength

SZ Technique in which the lay reverses direction periodically

5 Optical fibre

5.1 General

Single-mode optical fibre which meets the requirements of IEC 60793-2 shall be used.

5.2 Attenuation

5.2.1 Attenuation coefficient

The typical maximum attenuation coefficient of a cable is dependent on the fibre type(s) used. Typical values are shown in 5.1 of IEC 60794-1-1. Particular values shall be agreed between the user and the manufacturer.

The attenuation coefficient shall be measured in accordance with method A, B or C of IEC 60793-1-40.

5.2.2 Attenuation uniformity – Attenuation discontinuities

The local attenuation shall not have point discontinuities in excess of 0,10 dB. The test method best suited to provide the functional requirements is under consideration.

5.3 Cut-off wavelength

The cabled fibre cut-off wavelength, λ_{cc} , shall be less than the operational wavelength.

5.4 Fibre colouring

If the primary coated fibres are coloured for identification, the coloured coating shall be readily identifiable throughout the lifetime of the cable and shall be a reasonable match to IEC 60304. If required, the colouring shall permit sufficient light to be transmitted through the primary coating to allow local light injection and detection. Alternatively, the colour may be removed for this application.

5.5 Polarisation mode dispersion (PMD)

Cabled fibre PMD shall be specified/characterised on a statistical basis, not on an individual fibre basis, as described in annex A. Measurements on individual cabled fibres may be performed by any of the PMD measurement methods recognised by the IEC. Measurements on uncabled fibre can be used to generate cabled fibre statistics when the design and processes are stable and the relationship between the PMD coefficients of uncabled and cabled fibre are known. The following requirements pertain only to the aspect of the link calculated from cable information. To combine this information with other parts of the link, such as components and optical amplifiers, reference should be made to IEC 61282-3.

Une des deux méthodes suivantes doit être utilisée pour spécifier/caractériser la PMD. La méthode choisie doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fabricant du câble.

a) Méthode 1

Le fabricant doit fournir une valeur de conception de PMD, PMD_Q , qui sert de limite supérieure statistique pour le coefficient de PMD des câbles à fibres optiques concaténés dans une liaison optique éventuelle. Sauf avis contraire dans la spécification particulière, la valeur de PMD_Q , doit être inférieure à $0,5 \text{ ps/km}^{1/2}$ avec une probabilité de 10^{-4} que cette valeur soit dépassée pour une concaténation numérique d'au moins 20 câbles. La valeur doit être calculée en utilisant une méthode acceptée entre l'acheteur et le fabricant du câble. La relation entre la valeur de conception de la PMD et la performance d'un système de transmission numérique est traitée à l'annexe A.

b) Méthode 2

Fournir la fibre câblée avec une probabilité basse, P_F , selon laquelle la PMD de bout à bout instantanée à une longueur d'onde donnée dépasse une valeur donnée, I_{tot} . La probabilité, P_F , doit être calculée pour une liaison de référence concaténée de 400 km de long constituée de 40 câbles. Les valeurs de P_F et I_{tot} , et la méthodologie de statistique particulière doivent faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fabricant du câble. Sauf avis contraire dans la spécification particulière, $P_F \leq 6,5 \times 10^{-8}$ pour $I_{\text{tot}} = 25 \text{ ps}$.

NOTE $P_F \leq 6,5 \times 10^{-8}$ pour $I_{\text{tot}} = 25 \text{ ps}$ correspond à un temps supérieur à 25 ps équivalent à 0,002 min/an/km/circuit.

5.6 Longueur d'onde de coupure des câbles «jarretières»

Si cela est spécifié, la longueur d'onde de coupure pour les câbles «jarretières» (λ_{cj}) doit être mesurée conformément à la CEI 60793-1-44, en utilisant une boucle de $X \text{ mm}$ de rayon de courbure. Cette longueur d'onde de coupure des câbles «jarretières» doit être inférieure à la longueur d'onde opérationnelle. (Des valeurs plus basses peuvent être demandées dans des applications utilisant des longueurs de jarretières inférieures à 2 m.)

NOTE Certaines administrations spécifient $X = 152 \text{ mm}$.

6 Élément de câble

Généralement, les câbles optiques comportent plusieurs éléments ou constituants individuels, selon la conception de câble, élaborée en fonction de l'application, de l'environnement opérationnel et des procédés de fabrication ainsi que du besoin de protection de la fibre lors des manipulations et pendant la mise en câble.

Le ou les matériaux entrant dans la composition d'un élément de câble doivent être sélectionnés de façon à être compatibles avec les autres éléments au contact desquels ils se trouvent. Une méthode d'essai de compatibilité appropriée doit être définie dans la spécification de famille ou particulière.

Les éléments optiques sont des éléments de câble comportant des fibres optiques et sont conçus pour être une unité fonctionnelle primaire du cœur du câble. Ils peuvent être quelques-uns des éléments de câble décrits ci-dessous. Les éléments optiques ainsi que chaque fibre contenus dans un élément de câble doivent être identifiés de manière unique, par exemple par des couleurs, par un schéma de positionnement, par des marquages ou selon les indications données dans la spécification particulière.

Les essais peuvent être effectués sur des éléments de câble soit sous forme non câblée soit en câble terminé. Sauf spécification contraire, les essais doivent être effectués sur des éléments de câble inclus dans un câble terminé. (Ce qui signifie que si l'opération de fabrication des éléments est faite par le même fabricant que l'opération de câblage, les essais ne doivent être faits que sur le câble terminé. Les essais sur des éléments de câble doivent être faits seulement si ces derniers sont fournis par une tierce partie; ils n'excluent pas les essais sur le câble terminé.)

One of the following two methods shall be used to specify/characterise PMD. The method chosen shall be agreed upon between the buyer and the cable manufacturer.

a) Method 1

The manufacturer shall supply a PMD design value, PMD_Q , that serves as a statistical upper bound PMD coefficient of the concatenated optical fibre cables within a possible optical link. Unless otherwise specified in the detail specification, the PMD_Q value shall be less than $0,5 \text{ ps/km}^{1/2}$ with a probability of 10^{-4} that this value be exceeded for a numerical concatenation of at least 20 cables. The value shall be computed using a method agreed upon between the buyer and cable manufacturer. The relationship between this PMD design value and the performance of a digital transmission system is discussed in annex A.

b) Method 2

Provide cabled fibre with a low probability, P_F , that the instantaneous end-to-end PMD at a given wavelength exceeds a given value, I_{tot} . The probability, P_F , shall be calculated for a 400 km concatenated reference link comprised of 40 cable sections. The values for P_F and I_{tot} , and the particular statistical methodology shall be agreed between the buyer and the cable manufacturer. Unless otherwise specified in the detail specification, $P_F \leq 6,5 \times 10^{-8}$ for $I_{\text{tot}} = 25 \text{ ps}$.

NOTE $P_F \leq 6,5 \times 10^{-8}$ for $I_{\text{tot}} = 25 \text{ ps}$ corresponds to time over 25 ps equal to 0,002 nm/year/km/circuit.

5.6 Jumper cable cut-off wavelength

If specified, the cut-off wavelength for jumper cables (λ_c) shall be measured in accordance with IEC 60793-1-44, using a loop bend diameter of $X \text{ mm}$. This jumper cable cut-off wavelength shall be less than the operational wavelength. (Lower values may be required for applications using jumper lengths of less than 2 m.)

NOTE Some administrations specify $X = 152 \text{ mm}$.

6 Cable element

Generally, optical cables comprise several elements or individual constituents, depending on the cable design which takes into account the cable application, operating environment and manufacturing processes, as well as the need to protect the fibre during handling and cabling.

The material(s) used for a cable element shall be selected so as to be compatible with the other elements in contact with it. An appropriate compatibility test method shall be defined in the family or detail specification.

Optical elements are cable elements containing optical fibres and are designed to be a primary functional unit of the cable core. They may comprise any of the cable elements described below. Optical elements and each fibre within a cable element shall be uniquely identified, for example, by colours, by a positional scheme, by markings or as specified in the detail specification.

Tests may be performed on cable elements either in uncabled form or in finished cable. Unless otherwise specified, testing shall be performed on cable elements in a finished cable. (This means that testing shall be performed only on a finished cable if the cable element manufacturing operation is done by the same manufacturer as the cabling operation. Testing shall be performed on cable elements only if the cable element is supplied by a third party; this does not exclude testing of the finished cable.)

Différents types d'éléments optiques sont décrits ci-après.

6.1 Revêtement secondaire serré ou revêtement protecteur

Si un revêtement secondaire serré est prescrit, il doit comporter une ou plusieurs couches de matériau polymère. Le revêtement doit pouvoir s'enlever facilement pour le raccordement de la fibre. Le diamètre extérieur nominal du revêtement secondaire doit être compris entre 800 μm et 900 μm . La valeur, qui doit faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fabricant, doit avoir une tolérance de $\pm 50 \mu\text{m}$. L'excentricité entre le revêtement secondaire et la fibre ne doit pas dépasser 75 μm , sauf accord contraire passé entre l'utilisateur et le fabricant.

La couleur du revêtement secondaire serré doit être facilement identifiable pendant toute la durée de vie du câble.

6.2 Fibre renforcée

Une protection supplémentaire peut être adjointe à des fibres à revêtement secondaire serré en entourant une ou plusieurs de ces fibres d'éléments de renforts non métalliques à l'intérieur d'une gaine d'un matériau adapté (par exemple pour des câbles d'éclatement).

6.3 Jonc rainuré

Le jonc rainuré s'obtient en extrudant un matériau adapté (par exemple du polyéthylène ou du polypropylène) avec un certain nombre d'encoches longitudinales, présentant la forme d'une hélice ou d'un SZ. Chaque encoche peut être remplie et contenir une ou plusieurs fibres sous revêtement primaire ou un élément optique.

Le jonc rainuré comporte habituellement un élément central, métallique ou non métallique. Dans ce cas, il doit y avoir une adhérence convenable entre l'élément central et le jonc extrudé, afin d'obtenir la stabilité en température et le comportement à la traction requis pour l'élément à jonc rainuré.

Le profil de l'encoche doit être uniforme et garantir les performances optiques et mécaniques prescrites pour le câble optique.

6.4 Tube

Une ou plusieurs fibres sous revêtement primaire ou d'autres éléments optiques sont conditionnées (de manière lâche ou non) dans un tube, qui peut être rempli. Le tube peut être renforcé avec une paroi composite.

Si cela est prescrit, l'aptitude du tube doit être déterminée par une évaluation de sa résistance à la pliure, conformément à la méthode G7, de la CEI 60794-1-2.

Le matériau de remplissage dans le tube doit être conforme à la méthode E14 ou à la méthode E15 de la CEI 60794-1-2.

6.5 Ruban

Les rubans à fibres optiques sont constitués de fibres optiques assemblées en un arrangement linéaire composite.

Les fibres doivent être parallèles et former des rubans composés typiquement de 2, 4, 6, 8, 10, 12 ou 24 fibres chacun, selon les prescriptions de l'utilisateur. Les fibres se trouvant dans un ruban ne doivent pas se croiser et doivent rester parallèles.

Different types of optical elements are described below.

6.1 Tight secondary coating or buffer

If a tight secondary coating is required, it shall consist of one or more layers of polymeric material. The coating shall be easily removable for fibre splicing. The nominal overall diameter of the secondary coating shall be between 800 μm and 900 μm . The value, which shall be agreed between the user and the manufacturer, shall have a tolerance of $\pm 50 \mu\text{m}$. The fibre/secondary coating eccentricity shall not exceed 75 μm unless otherwise agreed between the user and the manufacturer.

The colour of the tight secondary coating shall be readily identifiable throughout the lifetime of the cable.

6.2 Ruggedized fibre

Further protection can be provided to tight secondary coated fibres by surrounding one or more with non-metallic strength members within a sheath of suitable material (for example, for fan-out cables).

6.3 Slotted core

The slotted core is obtained by extruding a suitable material (for example, polyethylene or polypropylene) with a defined number of slots, providing helical or SZ configuration along the core. One or more primary coated fibres or optical elements are located in each slot that may be filled.

The slotted core usually contains a central element, which may be either metallic or non-metallic. In this case, there shall be adequate adhesion between the central element and the extruded core in order to obtain the required temperature stability and tensile behaviour for the slotted core element.

The profile of the slot shall be uniform and shall ensure the optical and mechanical performance required of the optical cable.

6.4 Tube

One or more primary coated fibres or other optical elements are packaged (loosely or not) in a tube construction that may be filled. The tube may be reinforced with a composite wall.

If required, the suitability of the tube shall be determined by an evaluation of its kink resistance in accordance with method G7 of IEC 60794-1-2.

The filling compound in the tube shall comply with method E14 or method E15 of IEC 60794-1-2.

6.5 Ribbon

Optical fibre ribbons are optical fibres assembled in a composite linear array.

Fibres shall be arranged in parallel and formed into ribbons of typically 2, 4, 6, 8, 10, 12 or 24 fibres each according to user requirements. The fibres within the ribbons shall remain parallel and not cross over.

La conception de base prévoit que les fibres adjacentes d'un ruban soient contiguës et que leurs lignes médianes soient droites, parallèles et coplanaires.

Sauf spécification contraire, chaque ruban doit être identifié de manière unique par un texte imprimé ou par coloration de la ou des fibres de référence et/ou du matériau d'enrobage du ruban.

Les structures à rubans sont typiquement appelées soit collées bord à bord, soit encapsulées, selon la quantité de revêtement protecteur apportée aux fibres par l'agent d'enrobage.

La figure 1 illustre la structure collée bord à bord dans laquelle l'agent d'enrobage est surtout appliqué entre les fibres. La figure 2 illustre la structure encapsulée, dans laquelle l'agent d'enrobage s'étend bien au-delà de la surface extrême de chaque fibre. Ces deux types de structures à rubans sont à même de satisfaire aux prescriptions de la présente norme.

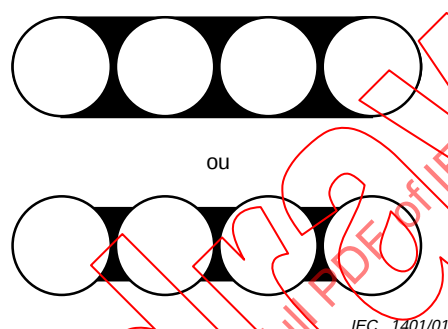


Figure 1 – Section droite d'un ruban de type collé bord à bord

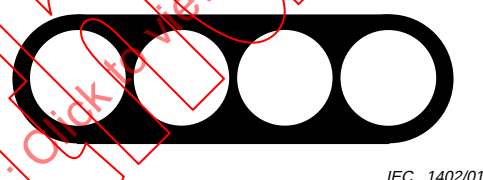


Figure 2 – Section droite d'un ruban de type encapsulé

Certains paramètres doivent être mesurés sur le ruban, les essais correspondants effectués sur la fibre sous revêtement primaire ou sur le câble terminé n'étant pas suffisants pour avoir une caractérisation complète. Ces paramètres sont identifiés ci-après.

7 Construction d'un câble à fibres optiques

7.1 Généralités

Le câble doit être conçu et fabriqué pour une durée de vie en service estimée à au moins 20 ans. Dans ce contexte, l'affaiblissement du câble installé, à la ou aux longueurs d'onde de fonctionnement, ne doit pas dépasser les valeurs convenues entre l'utilisateur et le fabricant. Les matériaux du câble ne doivent pas présenter un danger pour la santé dans le cadre de l'application prévue.

Toutes les fibres composant un câble sont habituellement du même type, mais l'attention est attirée sur le fait que certains câbles sont hybrides, ils contiennent divers types de fibres spécifiés et les fibres d'un même type peuvent avoir différentes provenances.

The design intent is that adjacent fibres within a ribbon are contiguous and that fibre centre lines are straight, parallel and coplanar.

Unless otherwise specified, each ribbon shall be uniquely identified with a printed legend or by uniquely colouring the reference fibre in the ribbon and/or by colouring the matrix material of the ribbon.

Ribbon structures are typically designated as either edge-bonded or encapsulated, depending on the amount of buffering afforded the fibres by the bonding agent.

Figure 1 illustrates the edge-bonded structure in which the bonding agent is applied predominantly between the fibres. Figure 2 illustrates the encapsulated structure in which the bonding agent extends well beyond the extreme surface of any fibre. Both ribbon structures are capable of meeting the requirements of this standard.

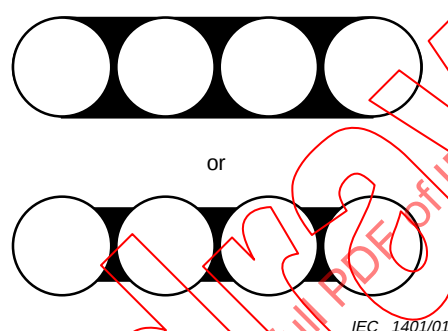


Figure 1 – Cross-section of a typical edge-bonded ribbon

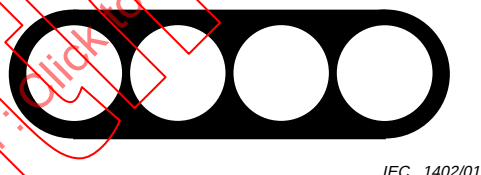


Figure 2 – Cross-section of a typical encapsulated ribbon

Some parameters shall be measured in the ribbon since the corresponding tests on the primary coated fibre or finished cable are not sufficient for complete characterisation. These parameters are identified below.

7 Optical fibre cable construction

7.1 General

The cable shall be designed and manufactured for a predicted operating lifetime of at least 20 years. In this context, the attenuation of the installed cable at the operational wavelength(s) shall not exceed the values agreed between the user and the manufacturer. The materials in the cable shall not present a health hazard within its intended use.

The fibres in the cables are usually of the same type, but attention is drawn to the fact that some cables are hybrids, containing multiple specified fibre types, and fibres of the same type may have different origins.

Il ne doit pas y avoir d'épissure de la fibre dans une longueur de livraison, sauf accord contraire entre l'utilisateur et le fabricant.

Il doit être possible d'identifier chaque fibre individuellement sur toute la longueur du câble.

Dans le cas particulier de câbles pour application en aérien, et afin d'éviter toute tension excessive des fibres induite par les conditions d'environnement, telles qu'une surcharge due à l'action du vent ou du gel, la construction du câble et particulièrement les renforts de traction doivent être choisis de sorte que cette contrainte soit limitée à la valeur acceptée entre l'utilisateur et le fabricant.

7.2 Assemblage des éléments de câble

Les éléments optiques, décrits à l'article 6, peuvent être assemblés comme suit:

- a) élément(s) optique(s) sans pas d'assemblage (pour un tube unitaire, la résistance à la pliure ne doit être évaluée que sur demande);
- b) un certain nombre d'éléments optiques homogènes, en hélice ou SZ (les éléments de type ruban peuvent être assemblés en empilant deux ou plusieurs éléments);
- c) un certain nombre de configurations mixtes dans un jonc rainuré, tel que fibre à revêtement serré, ruban ou tube;
- d) un certain nombre de configurations mixtes dans un tube, telles que fibre à revêtement serré ou ruban.

Si cela est prescrit, des conducteurs en cuivre isolé, unitaires, par paire ou par quarte, peuvent être assemblés avec les éléments optiques.

Le câble étant soumis au rayon de pliage minimal, la contrainte maximale de la fibre due à la courbure doit être convenue entre l'utilisateur et le fabricant.

7.3 Remplissage de l'âme du câble

Si cela est prescrit, le ou les éléments composant le câble, de même que l'âme du câble, doivent être remplis continuellement d'un matériau qui empêche la progression de l'eau. Une autre méthode peut consister à appliquer des éléments bloqueurs d'eau à intervalles réguliers. Les matériaux doivent pouvoir être retirés facilement, sans l'aide d'autres matériaux à risque ou potentiellement dangereux. Le câble doit passer l'essai de l'écoulement du matériau de la méthode E14 de la CEI 60794-1-2.

Le matériau bloqueur utilisé doit être compatible avec les autres composants du câble. Lorsqu'un matériau de remplissage est utilisé, sa pertinence doit être démontrée à l'aide des méthodes d'essai suivantes:

- a) le taux de séparation d'huile provenant du matériau de remplissage doit suivre les prescriptions de l'article 5 de la CEI 60811-5-1; ou bien le matériau de remplissage doit être essayé conformément à la méthode E15 de la CEI 60794-1-2.
- b) pour les câbles comportant des éléments métalliques, le matériau de remplissage doit être soumis à des essais afin de déterminer la présence de composants corrosifs, conformément à l'article 8 de la CEI 60811-5-1;
- c) seulement si l'essai de séparation d'huile de la CEI 60811-5-1 est choisi en 7.3a) ci-dessus, le matériau de remplissage ne doit pas être sous forme liquide, pour des températures inférieures à une valeur spécifiée. Le point de goutte doit être déterminé conformément à l'article 4 de la CEI 60811-5-1.

Pour les cas où le matériau bloqueur est un matériau gonflant, les essais applicables sont à l'étude.

There shall be no fibre splice in a delivery length, unless otherwise agreed by the user and the manufacturer.

It shall be possible to identify each individual fibre throughout the length of the cable.

For the particular case of cables for aerial application, to avoid excess fibre strain induced by the environmental conditions, such as wind loading or ice loading, the cable construction and particularly the strength members shall be selected to limit this strain to the value agreed between the user and the manufacturer.

7.2 Lay-up of the cable elements

Optical elements as described in clause 6 may be laid up as follows:

- a) optical element(s) without a stranding lay (for a single tube its kink resistance shall be evaluated only if required);
- b) a number of homogeneous optical elements using helical or SZ configurations (ribbon elements may be laid up by stacking two or more elements);
- c) a number of hybrid configurations in slotted core such as tight-coated, ribbon or tube;
- d) a number of hybrid configurations in a tube such as tight-coated or ribbon.

If required, insulated copper conductors in single, pair or quad construction may be laid up with the optical elements.

With the cable set at its minimum bend radius, the maximum fibre strain due to the bending of the fibre shall be agreed between the user and the manufacturer.

7.3 Cable core filling

If specified, the element(s) and, in addition, the cable core shall be continuously filled with water blocking material. Alternatively, water blocks may be applied at regular intervals. The material shall be easily removed without the use of materials considered to be hazardous or dangerous. The cable shall pass the compound flow test of method E14 of IEC 60794-1-2.

The blocking material used shall be compatible with the other relevant cable elements. Where a filling compound is used, its suitability shall be demonstrated by the use of the following test methods:

- a) the amount of oil separation from the filling compound shall meet the requirements of clause 5 of IEC 60811-5-1; alternatively the filling compound shall be tested in accordance with method E15 of IEC 60794-1-2;
- b) for cables containing metallic elements, the filling compound shall be tested for the presence of corrosive compounds in accordance with clause 8 of IEC 60811-5-1;
- c) only if testing of oil separation according to IEC 60811-5-1 is chosen in 7.3a) above, the filling compound shall not be liquid at temperatures lower than a specified value. The determination of the drop point shall be in accordance with clause 4 of IEC 60811-5-1.

Suitability tests are under consideration for situations where the blocking material is likely to swell in water.

7.4 Renfort de traction

Le câble doit avoir été conçu avec suffisamment d'éléments de renfort de traction pour garantir l'installation et les conditions de service sans que les fibres ne soient soumises à une contrainte qui dépasse les limites convenues entre l'utilisateur et le fabricant.

L'élément de renfort peut être métallique ou non métallique; il peut être situé dans l'âme du câble et/ou sous la gaine et/ou dans la gaine.

Si cela est prescrit, le câble aérien doit être équipé d'un porteur séparé. L'emplacement et le type de porteur dépendent de la technique d'installation et des conditions d'environnement et doivent être déterminés par accord entre l'utilisateur et le fabricant.

Par exemple, le porteur et le câble peuvent avoir une structure du type «lovage en 8» ou bien le câble peut être lié à un porteur séparé, par ligature ou par tout autre moyen adapté.

7.5 Barrière contre l'humidité

Si cela est spécifié, une barrière contre l'humidité doit être prévue, consistant soit en une gaine métallique continue, soit en un ruban métallique appliqué longitudinalement sur l'âme du câble, posé à recouvrement et collé à la gaine.

En variante, d'autres structures peuvent être adoptées suivant accord entre l'utilisateur et le fabricant.

Dans le cas d'un ruban métallique continu, la nature et l'épaisseur du matériau doivent faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fabricant.

Les matériaux métalliques qui peuvent être utilisés sont indiqués, de manière non limitative, ci-après: acier et aluminium revêtus ou non, cuivre et alliages de cuivre. Ces métaux peuvent être plats ou cannelés comme indiqué dans le document d'achat. Le raccordement des rubans métalliques peut être autorisé à condition d'assurer la continuité électrique du câble terminé.

Dans le cas d'un ruban d'aluminium servant de barrière contre l'humidité, la valeur du recouvrement ainsi que l'épaisseur du ruban d'aluminium doivent être conformes à la CEI 60708-1. L'épaisseur nominale du ruban peut être réduite suivant accord entre l'utilisateur et le fabricant. L'adhérence du ruban d'aluminium à la gaine doit satisfaire aux prescriptions données en 19.2 de la CEI 60708-1. Un échantillon de la gaine, prélevé à chaque extrémité d'un câble terminé, doit être examiné afin de garantir que le recouvrement du ruban servant de barrière contre l'humidité est fermé et qu'il remplit les prescriptions de ce paragraphe.

L'efficacité de la barrière contre l'humidité peut être démontrée en procédant à un autre essai après accord entre l'utilisateur et le fabricant.

7.6 Gaine de câble et armure

7.6.1 Gaine intérieure

Une gaine intérieure de câble peut être appliquée après accord entre l'utilisateur et le fabricant. Lorsque cela est requis pour une construction spécifique ou des raisons de fabrication, les âmes de câble ou des sous-ensembles de l'âme ou les deux peuvent être recouverts de gaines intérieures. Sauf spécification contraire, la gaine intérieure doit être en polyéthylène.

7.4 Strength member

The cable shall be designed with sufficient strength members to meet installation and service conditions so that the fibres are not subjected to strain of more than the limits agreed between the user and the manufacturer.

The strength member may be either metallic or non-metallic and may be located in the cable core and/or under the sheath and/or in the sheath.

If required, the aerial cable shall be equipped with a separate suspension strand. The location and the type of suspension strand depend on the installation practice and environmental conditions and shall be determined by agreement between the user and the manufacturer.

For example, the suspension strand and the cable core may form a "figure 8" construction or the cable may be fastened to a separate suspension strand by lashing or by other suitable means.

7.5 Moisture barrier

If specified, a moisture barrier shall be provided either by a continuous metallic sheath or by a metallic tape applied over the cable core with a longitudinal overlap and bonded to the sheath.

Alternatively, other constructions may be adopted by agreement between the user and the manufacturer.

In the case of a continuous metallic sheath, the material and its thickness shall be agreed between the user and the manufacturer.

Metallic materials that may be used include, but are not limited to, coated and uncoated aluminium and steel, copper and copper alloys. These metals may be either flat or corrugated as designated by the procurement document. Splicing of metallic tapes may be allowed, provided electrical continuity is ensured in the finished cable.

In the case of an aluminium moisture barrier tape, the amount of overlap and the thickness of the aluminium tape shall be in accordance with IEC 60708-1. The tape may have a reduced nominal thickness by agreement between the user and the manufacturer. The adhesion of the aluminium tape to the sheath shall comply with 19.2 of IEC 60708-1. A sample of the sheath, taken from each end of a finished cable, shall be examined to ensure that the overlap of the moisture barrier tape is closed and that it meets the requirements of this subclause.

The effectiveness of the moisture barrier may be proved by an alternative test with agreement between the user and the manufacturer.

7.6 Cable sheath and armouring

7.6.1 Inner sheath

A cable inner sheath may be applied by agreement between the user and the manufacturer. When required for a specific construction or for manufacturing purposes, cable cores or sub-units within the core, or both, may be covered by inner sheaths. Unless otherwise specified, the inner sheath shall be made of polyethylene.

7.6.2 Armure

Lorsqu'une résistance à la traction ou une protection supplémentaire contre des dommages externes est prescrite, une armure doit être prévue.

7.6.3 Gaine extérieure

Le câble doit disposer d'une gaine sans raccord, composée de polyéthylène, stabilisé aux UV, résistant aux intempéries, conformément à l'article 22 de la CEI 60708-1, à moins d'un accord contraire entre l'utilisateur et le fabricant.

L'épaisseur de la gaine ainsi que le diamètre extérieur du câble et ses tolérances doivent tenir compte des conditions d'installation et doivent être déterminés par accord entre l'utilisateur et le fabricant.

7.6.4 Protection extérieure des câbles pour traversée sous lacustre et sous fluviale

La protection extérieure peut être soit une couche de fils polypropylène soit une gaine extérieure de polyéthylène ou de matériau approprié. La gaine extérieure particulière doit être convenue entre l'utilisateur et le fabricant.

Si demandé, la couche la plus extérieure doit être colorée pour faciliter la visibilité du mouvement du câble pendant l'installation et les opérations de maintenance.

7.7 Marquage de la gaine

Si cela est prescrit, le câble doit être marqué suivant une méthode convenue entre l'utilisateur et le fabricant. Les méthodes de marquage les plus courantes sont le marquage en relief, par flocage, en creux, par métallisation à chaud et par impression.

D'autres informations prescrites pour le texte du marquage sont à l'étude.

Le marquage peut se faire sur une ou deux lignes. S'il n'y a qu'une ligne, le marquage doit être effectué longitudinalement tout le long du câble. S'il y a deux lignes, elles doivent être diamétralement opposées, le marquage étant effectué longitudinalement tout le long du câble.

La résistance des marquages de la gaine à l'abrasion doit être démontrée conformément à la méthode E2B de la CEI 60794-1-2.

Pour un marquage sur deux lignes, il est suffisant de procéder à l'essai de résistance à l'abrasion sur une seule des deux lignes.

7.8 Hydrogène

Un guide est donné pour information à l'annexe D de la CEI 60794-1-1.

8 Conditions d'installation et de fonctionnement

8.1 Généralités

Les conditions d'installation et de fonctionnement doivent faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fabricant.

7.6.2 Armouring

Where additional tensile strength or protection from external damage is required, armouring shall be provided.

7.6.3 Outer sheath

The cable shall have a seamless sheath made of UV-stabilised weather-resistant polyethylene in accordance with clause 22 of IEC 60708-1, unless otherwise agreed between the user and the manufacturer.

The sheath thickness and cable overall diameter and its variations shall take into account the installation conditions and shall be determined by agreement between the user and the manufacturer.

7.6.4 Outer protection of cables for lake and river crossings

The outer protection may be either a layer of polypropylene roves or an outer sheath of polyethylene or appropriate materials. The particular outer sheath shall be agreed between user and manufacturer.

If required, the outermost layer shall be coloured to facilitate the visibility of cable movement during installation and maintenance operations.

7.7 Sheath marking

If required, the cable shall be marked by a method agreed between the user and the manufacturer. Common methods of marking are embossing, sintering, imprinting, hot foil and surface printing.

Other information required in the marking text is under consideration.

Marking may be provided as a single or double line of marking. A single line of marking shall be provided by marking longitudinally along the length of the cable. A double line of marking shall be provided with the two lines diametrically opposite each other, longitudinally along the length of the cable.

The abrasion resistance of the sheath markings shall be demonstrated in accordance with method E2B of IEC 60794-1-2.

For a double line of marking, the abrasion resistance test needs only be carried out on one line of marking.

7.8 Hydrogen gas

An informative guideline is given in annex D to IEC 60794-1-1.

8 Installation and operating conditions

8.1 General

Installation and operating conditions shall be agreed between the user and the manufacturer.

8.2 Caractérisation des éléments de câble pour aptitude au raccordement

Les essais suivants sont destinés à caractériser les différents types d'éléments de câbles vis-à-vis de leur aptitude au raccordement.

8.2.1 Essais généraux

Sauf spécification contraire, ces essais s'appliquent à tous les types d'éléments optiques.

8.2.1.1 Dimensions

Utiliser les méthodes d'essai suivantes, selon les cas:

- diamètres du revêtement secondaire et du revêtement protecteur serré: méthode B de la CEI 60793-1-21;
- tube, jonc rainuré et éléments renforcés: méthode B de la CEI 60793-1-21 ou CEI 60189;
- rubans: méthodes G2, G3 ou G4 de la CEI 60794-1-2.

8.2.1.2 Essai de pliage

Si exigé, utiliser la méthode G1 de la CEI 60794-1-2.

8.2.1.3 Dénudabilité

Utiliser la CEI 60793-1-32 pour la dénudabilité des revêtements primaire et secondaire des fibres et celle des revêtements protecteurs.

D'autres essais sont à l'étude.

8.2.2 Essais applicables aux tubes

8.2.2.1 Pliure du tube

Utiliser la méthode G7 de la CEI 60794-1-2.

D'autres essais sont à l'étude.

8.2.3 Essais applicables aux rubans

8.2.3.1 Dimensions

La figure 3 illustre la section droite d'un ruban à fibres optiques avec les différentes dimensions géométriques et d'alignement.

8.2 Characterisation of cable elements for splicing purposes

The following tests are intended to characterise the different types of cable elements for splicing purposes.

8.2.1 General purpose tests

Unless otherwise specified, these tests are applicable to all types of optical elements.

8.2.1.1 Dimensions

Use the following test methods where appropriate:

- secondary coating and tight buffer diameters: method B of IEC 60793-1-21;
- tube, slotted core and ruggedized elements: method B of IEC 60793-1-21 or IEC 60189;
- ribbons: methods G2, G3 or G4 of IEC 60794-1-2.

8.2.1.2 Bend test

If required, use method G1 of IEC 60794-1-2.

8.2.1.3 Strippability

Use IEC 60793-1-32 for the strippability of primary or secondary fibre coatings and tight buffers.

Other tests are under consideration.

8.2.2 Tests applicable to tubes

8.2.2.1 Tube kinking

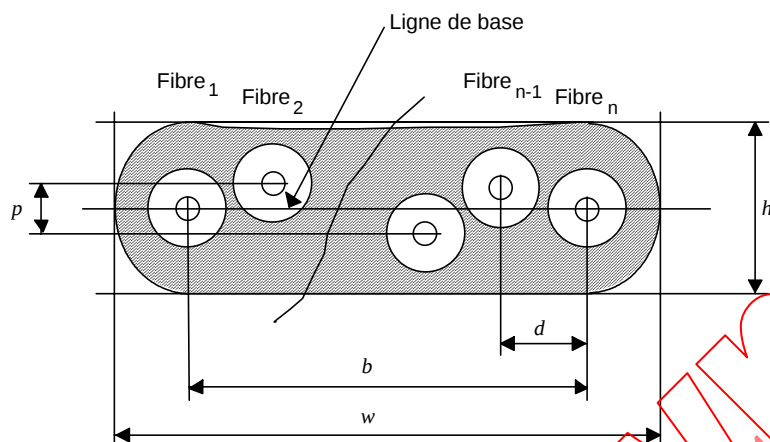
Use method G7 of IEC 60794-1-2.

Other tests are under consideration.

8.2.3 Tests applicable to ribbons

8.2.3.1 Dimensions

Figure 3 shows an illustrative cross-sectional drawing of an optical fibre ribbon with various geometric and alignment dimensions.



Légende

- b Distance centre-centre entre les fibres extrêmes
- d Distance centre-centre entre fibres adjacentes
- h Hauteur du ruban
- p Planéité de la structure du rubans
- w Largeur du ruban

Figure 3 – Coupe illustrant la géométrie d'un ruban de fibre

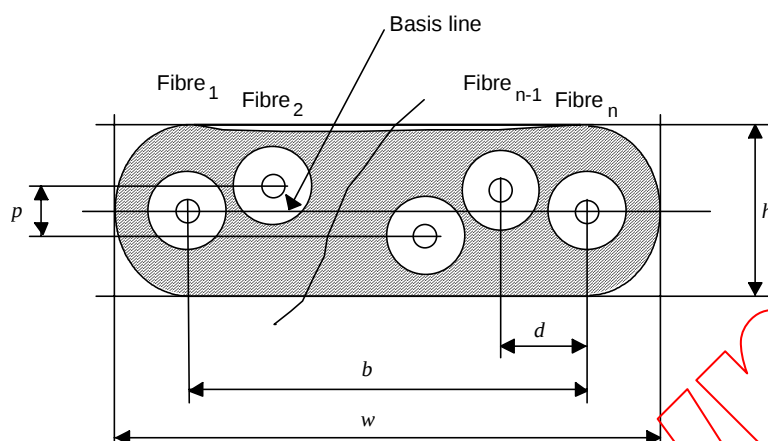
Sauf prescription contraire dans la spécification particulière, les dimensions maximales et la géométrie de la structure des rubans à fibres optiques doivent correspondre aux indications données dans le tableau 1.

Tableau 1 – Dimensions maximales des rubans à fibres optiques

Nombre de fibres	Largeur w	Hauteur h	Alignement des fibres		
			Ecartement horizontal		Planéité
			Fibres adjacentes	Fibres extrêmes	
			d	b	p
	μm	μm	μm	μm	μm
2	700	480	280	280	–
4	1 220	480	280	835	50
6	1 770	480	280	1 385	50
8	2 300	480	300	1 920	50*
10	2 850	480	300	2 450	50*
12	3 400	480	300	2 980	75*
24	6 800	480	300	Par unité**	75**

* Valeurs provisoires.

** Pour des valeurs unitaires qui sont mesurées avec le ruban séparé dans les sous-unités voulues.

**Key**

- b Centre-centre distance between the extreme fibres
- d Centre-centre distance between adjacent fibres
- h Height of the ribbon
- p Planarity of the ribbon structure
- w Width of the ribbon

Figure 3 – Cross-sectional drawing illustrating fibre ribbon geometry

Unless otherwise specified in the detail specification, the maximum dimensions and the structural geometry of optical fibre ribbons shall be as shown in table 1.

Table 1 – Maximum dimensions of optical fibre ribbons

Number of fibres	Width w	Height h	Fibre alignment		
			Horizontal separation		Planarity p
			Adjacent fibres d	Extreme fibres b	
	μm	μm	μm	μm	μm
2	700	480	280	280	–
4	1 220	480	280	835	50
6	1 770	480	280	1 385	50
8	2 300	480	300	1 920	50*
10	2 850	480	300	2 450	50*
12	3 400	480	300	2 980	75*
24	6 800	480	300	Per unit**	75**
* Provisional values.					
** Per unit values are measured with the ribbon separated into the intended subunits.					

Selon l'épissure ou la technique de connexion utilisées, il est possible que l'utilisateur et le fabricant soient amenés à adopter, après accord, d'autres prescriptions plus contraignantes.

Les dimensions et la géométrie de structure peuvent être vérifiées par un essai de type appelé méthode de mesure visuelle (méthode G2 de la CEI 60794-1-2) pour établir et assurer un contrôle convenable du procédé de fabrication du ruban. Une fois le procédé établi et afin d'assurer les performances fonctionnelles, la largeur et la hauteur des rubans peuvent être contrôlées et vérifiées, aux fins d'inspection finale, avec un gabarit (méthode G3 de la CEI 60794-1-2), un comparateur (méthode G4 de la CEI 60794-1-2) ou des méthodes de mesure visuelle.

8.2.3.2 Prescriptions mécaniques

8.2.3.2.1 Séparabilité du ruban en fibres individuelles

Si l'aptitude à la séparation en fibres est prescrite, la structure des rubans doit être telle que les fibres puissent être séparées du ruban pour former des sous-éléments ou des fibres optiques individuelles, tout en respectant les critères suivants:

- l'aptitude du ruban à être séparé en fibres individuelles doit être testée en utilisant l'essai de déchirure (séparabilité) de la méthode G5 de la CEI 60794-1-2, ou une méthode convenue entre le fabricant et l'utilisateur;
- la séparation en fibres doit être effectuée sans outil ou appareillage spécialisé;
- la procédure de séparation en fibres ne doit pas détériorer de manière permanente les performances optiques et mécaniques de la fibre optique;
- toute codification des fibres par coloration doit rester suffisamment lisible pour garantir une bonne distinction entre les différentes fibres individuelles.

8.2.3.2.2 Dénudabilité du ruban

Le revêtement des fibres individuelles ainsi que les matières résiduelles provenant de l'agent d'enrobage du ruban doivent pouvoir être facilement retirés. La méthode pour le retirer doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur ou doit être définie dans la spécification particulière.

8.2.3.2.3 Torsion

L'intégrité mécanique et fonctionnelle de la structure du ruban peut être vérifiée en appliquant l'essai de torsion de la méthode G6 de la CEI 60794-1-2.

8.2.3.2.4 Si des essais mécaniques supplémentaires sont prescrits, en dehors de ceux déjà indiqués dans les spécifications génériques CEI 60793 et CEI 60794 ou dans la présente spécification, ils doivent être mentionnés dans la spécification particulière.

8.2.3.3 Prescriptions liées à l'environnement

8.2.3.3.1 Immersion dans l'eau

A l'étude.

8.2.3.3.2 Toute prescription supplémentaire liée à l'environnement doit, le cas échéant, faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fabricant.

More stringent requirements may need to be agreed between the user and the manufacturer, depending on the splice or the connector technique employed.

The dimensions and structural geometry can be verified with a type test, described as the visual measurement method (method G2 of IEC 60794-1-2) to establish and assure proper control of the ribbon manufacturing process. Once the process is established, and in order to ensure functional performance, the width and height of the ribbons may be controlled and verified, for final inspection purposes, with an aperture gauge (method G3 of IEC 60794-1-2) or a dial gauge (method G4 of IEC 60794-1-2) or by the visual measurement methods.

8.2.3.2 Mechanical requirements

8.2.3.2.1 Separability of individual fibres from a ribbon

If fibre breakout capability is required, the ribbons shall be constructed in such a way that fibres can be separated from the ribbon construction, into subunits or individual optical fibres, while meeting the following criteria:

- the ribbon shall be tested for the ability to break out individual fibres using the tear (separability) test shown in method G5 of IEC 60794-1-2, or a method agreed upon between the manufacturer and the user;
- breakout shall be accomplished without specialised tools or apparatus;
- the fibre breakout procedure shall not be permanently detrimental to the fibre optical and mechanical performance;
- any colour coding of fibres shall remain sufficiently intact to enable individual fibres to be distinguished from each other.

8.2.3.2.2 Ribbon stripping

The coating from individual fibres as well as the residual ribbon bonding material shall be easily removable. The method of removal shall be agreed between manufacturer and user or shall be defined in the detail specification.

8.2.3.2.3 Torsion

The mechanical and functional integrity of a fibre ribbon can be verified by carrying out the torsion test shown in method G6 of IEC 60794-1-2.

8.2.3.2.4 If additional mechanical tests are required, other than those already specified in the generic specifications IEC 60793 and IEC 60794 or in this specification, they shall be mentioned in the detail specification.

8.2.3.3 Environmental requirements

8.2.3.3.1 Water immersion

Under consideration.

8.2.3.3.2 Additional environmental requirements, if any, shall be agreed between the user and the manufacturer.

9 Essais sur les câbles à fibres optiques

Les paramètres spécifiés dans la présente norme peuvent être affectés par une incertitude de mesure provenant d'erreurs de mesure ou d'erreurs d'étalonnage, dues à l'absence de normes appropriées. Les critères d'acceptation doivent être interprétés en tenant compte de cette observation. En ce qui concerne l'affaiblissement, l'incertitude de mesure, pour la présente norme, doit être inférieure ou égale à 0,05 dB.

L'expression «aucune modification de l'affaiblissement» signifie que tout changement positif ou négatif de la valeur de mesure, compris dans la marge d'incertitude, doit être ignoré.

Le nombre de fibres contrôlées doit être représentatif de la conception du câble et doit faire l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fabricant.

Pour certains essais applicables à la structure de type «lovage en 8», les essais doivent être effectués avec le porteur gauche en place. Lorsque cela est exigé par certaines pratiques d'installation, le câble «en 8» doit aussi pouvoir être essayé sans le porteur.

9.1 Résistance à la traction

Le câble doit être contrôlé conformément à la méthode E1 de la CEI 60794-1-2.

9.2 Aptitude à l'installation

La compatibilité du câble avec certaines conditions d'installations particulières peut être démontrée à l'aide des essais indiqués ci-dessous.

9.2.1 Courbure sous traction

Les câbles doivent être essayés conformément à la méthode E18 de la CEI 60794-1-2.

9.2.2 Courbures répétées

Le câble doit être essayé suivant la méthode E6 de la CEI 60794-1-2.

9.2.3 Chocs

Le câble doit être essayé conformément à la méthode E4 de la CEI 60794-1-2.

9.2.4 Pliure

Le câble doit être essayé conformément à la méthode E10 de la CEI 60794-1-2. Le diamètre minimal doit être convenu entre l'utilisateur et le fabricant.

9.2.5 Torsion

Le câble doit être essayé conformément à la méthode E7 de la CEI 60794-1-2.

9.2.6 Pression hydrostatique

Les câbles pour traversée sous lacustre et sous fluviale doivent être essayés conformément à la méthode F10 de la CEI 60794-1-2 (méthode à l'étude).

9 Optical fibre cable tests

The parameters specified in this standard may be affected by measurement uncertainty arising either from measurement errors or calibration errors due to the lack of suitable standards. Acceptance criteria shall be interpreted with respect to this consideration. The uncertainty of measurement for this standard shall be less than, or equal to, 0,05 dB for attenuation.

The expression of "no change in attenuation" means that any change in measurement value, either positive or negative, within the uncertainty of measurement shall be ignored.

The number of fibres tested shall be representative of the cable design and shall be agreed between the user and the manufacturer.

For some tests applicable to "figure 8" constructions, the tests shall be carried out with the suspension strand left in place. If required by certain installation practices, the "figure 8" cable shall also be tested without the suspension strand.

9.1 Tensile performance

The cable shall be tested in accordance with method E1 of IEC 60794-1-2.

9.2 Installation capability

Compatibility with particular installation conditions may be demonstrated by selecting from the following tests.

9.2.1 Bending under tension

Cables shall be tested in accordance with method E18 of IEC 60794-1-2.

9.2.2 Repeated bending

The cable shall be tested in accordance with the method specified in method E6 of IEC 60794-1-2.

9.2.3 Impact

The cable shall be tested in accordance with the method specified in method E4 of IEC 60794-1-2.

9.2.4 Kink

The cable shall be tested in accordance with the method specified in method E10 of IEC 60794-1-2. The minimum diameter shall be agreed between the user and the manufacturer.

9.2.5 Torsion

The cable shall be tested in accordance with the method specified in method E7 of IEC 60794-1-2.

9.2.6 Hydrostatic pressure

Cables for lake and river crossings shall be tested in accordance with the method specified in method F10 of IEC 60794-1-2 (method under consideration).

9.2.7 Performance de l'huile

Les câbles pour traversée sous lacustre et sous fluviale doivent être essayés conformément à la méthode E20 de la CEI 60794-1-2 (méthode à l'étude).

9.2.8 Résistance à l'abrasion de la gaine

La résistance à l'abrasion de la gaine doit être essayée conformément à la méthode E2A de la CEI 60794-1-2.

9.3 Pliage du câble

Le câble doit être essayé conformément à la procédure 1 de la méthode E11 de la CEI 60794-1-2.

9.4 Ecrasement

Le câble doit être essayé conformément à la méthode E3 de la CEI 60794-1-2.

9.5 Cycles de température

Le câble doit être essayé conformément à la procédure d'essai combiné de la CEI 60794-1-2, méthode F1.

9.6 Vieillissement

9.6.1 Compatibilité du revêtement de la fibre

Lorsque les fibres sont en contact avec un matériau de remplissage, la compatibilité du matériau de remplissage avec le revêtement de la fibre doit être démontrée en effectuant l'essai après vieillissement accéléré sur la fibre en câble ou sur la fibre immergée dans le matériau de remplissage afin de déterminer

- la stabilité de la force de dénudage du revêtement selon la méthode E5 de la CEI 60794-1-2; et, si cela est prescrit,
- la stabilité des dimensions;
- l'aptitude du revêtement à l'injection locale.

(Les méthodes d'essai sont à l'étude.)

9.6.2 Câble terminé

A l'étude.

9.7 Pénétration d'eau (pour câbles remplis uniquement)

Le câble doit être essayé conformément à la méthode spécifiée de la méthode F5B de la CEI 60794-1-2.

D'autres critères d'acceptation peuvent être appliqués, en accord avec les prescriptions spécifiques de l'utilisateur.

Pour les câbles pour traversée sous lacustre et sous fluviale, la méthode d'essai est à l'étude.

9.2.7 Coiling performance

Cables for lake and river crossing shall be tested in accordance with the method specified in method E20 of IEC 60794-1-2 (method under consideration).

9.2.8 Sheath abrasion resistance

The abrasion resistance of the sheath shall be determined in accordance with method E2A of IEC 60794-1-2.

9.3 Cable bend

The cable shall be tested in accordance with procedure 1 specified in method E11 of IEC 60794-1-2.

9.4 Crush

The cable shall be tested in accordance with method E3 of IEC 60794-1-2.

9.5 Temperature cycling

The cable shall be tested in accordance with the combined test procedure of method F1 of IEC 60794-1-2.

9.6 Ageing

9.6.1 Fibre coating compatibility

When the fibres are in contact with a filling compound, the compatibility of the filling compound with the fibre coating shall be demonstrated by testing after accelerated ageing, either the cabled fibre or the fibre in filling compound for

- coating stripping force stability in accordance with method E5 of IEC 60794-1-2; and, if required, for
- dimensional stability;
- coating transmissivity.

(Test methods are under consideration.)

9.6.2 Finished cable

Under consideration.

9.7 Water penetration (for filled cables only)

The cables shall be tested in accordance with method F5B of IEC 60794-1-2.

Other acceptance criteria may be applied in accordance with particular user requirements.

For cables for lake and river crossings, a test method is under consideration.

9.8 Résistance pneumatique (pour câbles non remplis uniquement)

Si les câbles non remplis sont protégés par une pressurisation gazeuse, la résistance pneumatique du câble doit être déterminée en utilisant la méthode F8 de la CEI 60794-1-2.

9.9 Foudre (pour les câbles contenant des éléments métalliques)

Si cela est requis, la protection du câble contre la foudre doit répondre aux prescriptions de la Recommandation K.25 de l'UIT-T ou être déterminée selon accord entre l'utilisateur et le fabricant.

9.10 Conditions spéciales d'installation aérienne

La compatibilité du câble pour les conditions spéciales d'installation en aérien peut être évaluée pour les essais suivants (non applicable pour les câbles pour traversée sous lacustre et sous fluviale).

9.10.1 Vibration éolienne

La résistance du câble aux vibrations éoliennes doit être essayée conformément à la méthode E19 de la CEI 60794-1-2 (méthode à l'étude).

9.10.2 Tenue aux plombs de chasse

Le câble doit être essayé conforme à la méthode E13 de la CEI 60794-1-2 (méthode à l'étude).

10 Assurance de qualité

La conformité avec les prescriptions de la spécification doit être vérifiée par des essais effectués comme indiqué dans la partie correspondante de la CEI 60794. Il n'est pas nécessaire que tous les essais soient effectués à l'extérieur pour chaque longueur de câble: la fréquence des essais doit être en accord avec le fabricant et l'acheteur.

Il est de la responsabilité du fabricant d'établir l'assurance de qualité par des procédures de contrôle de qualité qui assurent que le produit respecte les prescriptions de cette norme. Si l'acheteur souhaite spécifier des essais d'acceptation d'autres procédures de qualité, il est essentiel d'obtenir un accord entre l'acheteur et le fabricant au moment de la commande.

9.8 Pneumatic resistance (for unfilled cables only)

If unfilled cables are protected by gas pressurisation, the pneumatic resistance of a cable shall be determined using method F8 of IEC 60794-1-2.

9.9 Lightning (for cables containing metallic elements)

If required, the lightning protection of the cable shall meet the requirements of ITU-T Recommendation K.25 or as agreed between the user and manufacturer.

9.10 Special aerial installation conditions

The suitability of the cable for special aerial installation conditions may be evaluated by the following tests (not applicable to cables for lake and river crossings).

9.10.1 Aeolian vibration

The resistance of the cable to aeolian vibration shall be tested in accordance with method E19 of IEC 60794-1-2 (method under consideration).

9.10.2 Shotgun resistance

The cable shall be tested in accordance with method E13 of IEC 60794-1-2 (method under consideration).

10 Quality assurance

Compliance with specification requirements shall be verified by carrying out tests as indicated in the relevant part of IEC 60794. It is not intended that all tests shall be carried out on every length of cable: the frequency of testing shall be agreed between the manufacturer and purchaser.

It is the responsibility of the manufacturer to establish quality assurance by quality control procedures which ensure that the product meets the requirements of this standard. When the purchaser wishes to specify acceptance tests to other quality procedures, it is essential that an agreement is reached between the purchaser and the manufacturer at the time of ordering.

Annex A (informative)

Guide relatif à la spécification statistique de la dispersion de mode de polarisation des câbles à fibres optiques

A.1 Remarques introductives

La dispersion de mode de polarisation (PMD) est un attribut stochastique qui varie en amplitude de façon aléatoire dans le temps et selon la longueur d'onde. La variation de la valeur instantanée de la PMD dans la fibre optique est décrite par une fonction de densité de probabilité de Maxwell qui contient un paramètre individuel de mise à l'échelle, le coefficient de PMD, qui représente la moyenne des valeurs de PMD instantanées mesurées sur une bande de longueur d'onde et divisées par la racine carrée de la longueur (pour les fibres en mode couplées).

Le coefficient de PMD d'une liaison concaténée de câbles de longueurs égales est la moyenne quadratique des coefficients de PMD des sections de câbles individuels composant la liaison. Du fait que les coefficients de PMD des câbles individuels sont distribués de manière aléatoire, les coefficients pour la liaison concaténée le sont également. Cependant, la distribution de liaison concaténée possède une variabilité inférieure à la distribution pour les câbles individuels, du fait du moyennage qui a lieu lorsque les câbles sont concaténés.

La méthode 1 offre l'avantage d'une variation réduite des câbles concaténés en définissant une valeur de conception de PMD. Cette valeur peut être utilisée pour calculer une limite supérieure statistique sur la PMD d'une liaison de câbles concaténée contenant au moins 20 câbles. Cette limite supérieure fournit une indication plus réaliste de la PMD maximale que l'on est susceptible de rencontrer dans une liaison concaténée que la valeur qui serait obtenue au moyen d'une valeur de PMD la plus défavorable.

Du fait que la méthode 1 donne une limite statistique supérieure sur la PMD de liaisons concaténées, des méthodes de mesure de PMD approuvées peuvent être utilisées sur des liaisons de câbles installés pour déterminer si leur PMD est conforme à la limite statistique supérieure indiquée par le fabricant. Par ailleurs, la limite supérieure peut être utilisée pour calculer l'effet de la PMD de liaison sur la performance de tout type de système de transmission.

La méthode 2 combine la fonction de densité de la PMD des liaisons concaténées avec la fonction de densité de probabilité de Maxwell des PMD instantanées pour calculer une estimation de la probabilité d'après laquelle la PMD de bout-en-bout instantanée à une longueur d'onde donnée dépasse une valeur spécifiée. Le calcul est réalisé pour une liaison de référence de 400 km de long constituée de 40 câbles.

Le paragraphe A.5.1 décrit une caractéristique commune des deux méthodes. Le paragraphe A.5.2 précise la méthode 1 et A.5.3 fournit des précisions sur la méthode 2. Le paragraphe A.5.4 fournit une orientation sur le mode d'utilisation du résultat de la méthode 1 pour la conception du système numérique.

La présente annexe indique les définitions pour le calcul de la spécification statistique de dispersion de mode de polarisation sur les câbles à fibres optiques.

Annex A (informative)

Guide to the statistical specification of polarisation mode dispersion of optical fibre cables

A.1 Introductory remarks

Polarisation mode dispersion (PMD) is a stochastic attribute that varies in magnitude randomly over time and wavelength. The variation in the instantaneous value of PMD in optical cable is described by a Maxwell probability density function that contains a single scaling parameter, the PMD coefficient, which is the average of the instantaneous PMD values measured across a wavelength band and divided by the square root of length (for mode coupled fibre).

The PMD coefficient of a concatenated link of equal length cables is the root mean square (quadrature average) of the PMD coefficients of the individual cable sections comprising the link. Because the PMD coefficients of the individual cables are distributed randomly, the concatenated link coefficients are also distributed randomly. However, the concatenated link distribution has less variability than the distribution of the individual cables because of the averaging that occurs when the cables are concatenated.

Method 1 takes advantage of the reduced variation of concatenated cables by defining a PMD design value. This value can be used to compute a statistical upper bound on the PMD of a concatenated cable link comprised of at least 20 cables. This upper bound provides a more realistic indication of the maximum PMD likely to be encountered in a concatenated link than the value that would be obtained using a worst-case PMD value.

Because Method 1 provides a statistical upper bound on the PMD of concatenated links, approved PMD measurement methods can be used on installed cable links to determine whether their PMD complies with the statistical upper bound stated by the manufacturer. Furthermore, the upper bound can be used to compute the effect of the link PMD on the performance of any type of transmission system.

Method 2 combines the PMD density function of the concatenated links with the Maxwell probability density function of the instantaneous PMDs to compute an estimate of the probability that the instantaneous end-to-end PMD at a given wavelength exceeds a specified value. The computation is performed for a 400 km long reference link consisting of 40 cables.

Subclause A.5.1 describes a common feature of both methods. Subclause A.5.2 gives details on method 1 and A.5.3 gives details on method 2. Subclause A.5.4 gives guidance on how to use the result of method 1 for digital system design.

This annex indicates definitions for the calculation of the statistical specification of polarisation mode dispersion on optical fibre cables.

A.2 Appareillage

Utiliser un appareillage conforme à la CEI 61941 pour effectuer les mesures de PMD sur des sections de câbles individuels.

A.3 Échantillons d'essai

Préparer les sections de câble pour la mesure selon la CEI 61941.

A.4 Procédure d'essai

Suivre la procédure de la CEI 61941 pour mener à bien les mesures de PMD.

A.5 Calculs

Effectuer les calculs de la CEI 61941 pour calculer les valeurs de coefficient de PMD pour les sections de câbles individuels. Lorsqu'un nombre suffisant de sections de câbles représentatifs a été mesuré, utiliser les traitements statistiques des articles suivants pour évaluer la conformité aux spécifications de cette norme. Utiliser la CEI 61282-3 pour combiner les valeurs des spécifications de câbles à celles d'autres composants optiques qui peuvent se trouver dans le système, en vue de calculer la performance globale.

A.5.1 Concaténation des sections de câbles individuels

Une caractéristique commune des deux méthodes est qu'elles reposent sur le fait que le coefficient de PMD d'une liaison optique est la moyenne quadratique des coefficients de PMD des câbles de longueurs égales comprenant la liaison.

Soient x_i et l_i respectivement le coefficient de PMD (ps/√km) et la longueur d'une fibre dans un câble individuel. Le coefficient de PMD, X_M (ps/√km), d'une liaison concaténée de M câbles est le suivant:

$$X_M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M x_i^2 l_i}{\sum_{i=1}^M l_i}} \quad (1)$$

Pour une liaison constituée de longueurs de câbles égales M , $l_i = l_c$, l'équation (1) devient:

$$X_M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M x_i^2}{M}} \quad (2)$$

La variation du coefficient de PMD de liaison concaténée, X_M , est inférieure à la variation des sections de câbles individuels, x_i , du fait de l'établissement de moyennes des fibres concaténées.

A.2 Apparatus

Use apparatus conforming to IEC 61941 to make PMD measurements on individual cable sections.

A.3 Test sample

Prepare the cable sections for measurement in accordance with IEC 61941.

A.4 Test procedure

Follow the procedure in IEC 61941 to complete PMD measurements.

A.5 Calculations

Complete the calculations in IEC 61941 to compute the PMD coefficient values for the individual cable sections. When a sufficient number of representative cable sections have been measured, use the statistical treatments of the following clauses to evaluate conformance to the specifications of this standard. Use IEC 61282-3 to combine the cable specification values with those of other optical components that may be in the system, for calculating overall performance.

A.5.1 Concatenation of individual cable sections

A common feature of both methods is that they rely on the fact that the PMD coefficient of an optical link is the root mean square (quadrature average) of the PMD coefficients of the equal length cables comprising the link.

Let x_i and l_i be the PMD coefficient (ps/√km) and length, respectively, of a fibre in an individual cable. The PMD coefficient, X_M (ps/√km), of a concatenated link of M cables is as follows:

$$X_M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M x_i^2 l_i}{\sum_{i=1}^M l_i}} \quad (1)$$

For a link comprised of M equal cable lengths, $l_i = l_c$, equation (1) becomes:

$$X_M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M x_i^2}{M}} \quad (2)$$

The variation in the concatenated link PMD coefficient, X_M , is less than the variation in the individual cable sections, x_i , because of the averaging of the concatenated fibres.

A.5.2 Méthode 1: Valeur de conception de PMD

A.5.2.1 Détermination de la distribution de probabilité des coefficients de PMD de liaison

L'équation (2) montre que le coefficient de PMD, X_M , d'une liaison concaténée particulière peut être dérivé des coefficients de PMD des sections de câbles individuels, x_i , comprenant cette liaison. La distribution de probabilité des coefficients de PMD de liaison dépend de la distribution des coefficients de PMD de câbles et du nombre de sections de câbles comprenant cette liaison.

Trois méthodes pouvant être utilisées pour estimer la distribution des coefficients du PMD de liaison sont décrites ci-après. La méthode a) est numérique et les méthodes b) et c) sont analytiques. Des deux méthodes b) et c), la première suppose une fonction analytique spécifique pour la distribution des coefficients de PMD de câbles, tandis que la seconde n'établit pas de telles hypothèses, mais invoque une extension du théorème de limite central.

a) Méthode numérique de Monte Carlo [1]¹⁾

La méthode de Monte Carlo peut être utilisée pour déterminer la densité de probabilité, f_{link} , des coefficients de PMD de liaison concaténée sans élaborer d'hypothèse sur la forme de la fonction. Cette méthode simule le processus de construction de liaisons en prélevant des échantillons de façon répétitive dans le groupe de câbles mesurés. Les coefficients de PMD sont mesurés sur un nombre de fibres en câble suffisamment important pour caractériser la distribution sous-jacente. Cette donnée est alors utilisée pour calculer le coefficient de PMD pour un trajet de fibre unique dans une liaison concaténée.

Le calcul du coefficient de PMD de liaison est effectué de manière aléatoire en sélectionnant les valeurs M des coefficients de PMD en câbles mesurés, et en les ajoutant sur une base quadratique (en quadrature) selon l'équation (2). Le coefficient de PMD de liaison calculé est placé dans un tableau ou un histogramme de valeurs dérivées d'autres échantillonnages aléatoires. Le processus est renouvelé jusqu'à ce qu'un nombre suffisant de valeurs de PMD de liaison ait été calculé pour produire un histogramme (0,001 ps/√km) de haute densité de la distribution du coefficient de PMD de la liaison concaténée.

Du fait du théorème de limite central, l'histogramme des coefficients de PMD de liaison tend à converger vers des distributions qui peuvent être décrites avec un minimum de deux paramètres. De ce fait, l'histogramme peut être adapté à une équation paramétrique qui permet une extrapolation aux niveaux de probabilité qui sont plus petits que ne le laisserait supposer la taille d'échantillon. Les deux paramètres représentent invariablement deux aspects des distributions: la valeur centrale et la variabilité sur la valeur centrale. Un choix de distributions de probabilité peut être établi sur la base de la forme de l'histogramme. Des distributions types pourraient inclure une distribution lognormale (le logarithme des coefficients du PMD de liaison est gaussien) ou une distribution qui est dérivée de la distribution Gamma.

b) Méthode analytique de la distribution Gamma [2]

La famille Gamma des distributions peut souvent être utilisée pour représenter les distributions des coefficients de PMD de câbles mesurés et des coefficients de PMD de liaison. Si l'on suppose que le carré des coefficients de PMD de câbles mesurés, x_i , est distribué en tant que variable aléatoire de gamma, la densité de probabilité des coefficients de PMD câblés est donnée par:

$$f_{cable}(x; \alpha, \beta) = \frac{2\beta^\alpha x^{2\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} \exp(-\beta x^2) \quad (3)$$

où

x est une valeur possible du coefficient de PMD du câble;

$\Gamma(\alpha)$ est une fonction de Gamma;

α et β contrôlent la forme de la densité.

¹⁾ Les chiffres entre crochets renvoient aux documents de référence.

A.5.2 Method 1: PMD design value

A.5.2.1 Determining the probability distribution of the link PMD coefficients

Equation (2) shows that the PMD coefficient, X_M , of a particular concatenated link can be derived from the PMD coefficients of the individual cable sections, x_i , comprising that link. The probability distribution of the link PMD coefficients depends on the distribution of the cable PMD coefficients and the number of cable sections comprising the link.

Three methods that can be used to estimate the distribution of the link PMD coefficients are described below. Method a) is numerical and methods b) and c) are analytic. Of the two analytic methods, method b) assumes a specific analytic function for the distribution of the cable PMD coefficients, while method c) makes no such assumptions but invokes an extension of the central limit theorem.

a) Monte Carlo numeric method [1]¹⁾

The Monte Carlo method can be used to determine the probability density, f_{link} , of the concatenated link PMD coefficients without making any assumption about its functional form. This method simulates the process of building links by sampling the measured cable population repeatedly. PMD coefficients are measured on a sufficiently large number of cabled fibres so as to characterise the underlying distribution. This data is then used to compute the PMD coefficient for a single fibre-path in a concatenated link.

Computation of the link PMD coefficient is made by randomly selecting M values from the measured cabled PMD coefficients, and adding them on an RMS basis (in quadrature) according to equation (2). The computed link PMD coefficient is placed in a table or a histogram of values derived from other random samplings. The process is repeated until a sufficient number of link PMD values has been computed to produce a high density (0,001 ps/√km) histogram of the concatenated link PMD coefficient distribution.

Because of the central limit theorem, the histogram of link PMD coefficients will tend to converge to distributions that can be described with a minimum of two parameters. Hence, the histogram can be fitted with a parametric equation that enables extrapolation to probability levels that are smaller than those that would be implied by the sample size. The two parameters will invariably represent two aspects of the distributions: the central value and the variability around the central value. A choice of probability distributions can be made on the basis of the shape of the histogram. Typical distributions could include lognormal (the log of the link PMD coefficients is Gaussian) or one that is derived from the Gamma distribution.

b) Gamma distribution analytic method [2]

The Gamma family of distributions can often be used to represent the distributions of both the measured cable PMD coefficients and the link PMD coefficients. If one assumes that the square of the measured cable PMD coefficients, x_i , is distributed as a Gamma random variable, the probability density of the cabled PMD coefficients is given by

$$f_{\text{cable}}(x; \alpha, \beta) = \frac{2\beta^\alpha x^{2\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} \exp(-\beta x^2) \quad (3)$$

where

x is a possible value of the cable PMD coefficient;

$\Gamma(\alpha)$ is the Gamma function;

α and β control the shape of the density.

¹⁾ Figures in square brackets refer to the reference documents.

Les techniques d'adaptation normalisées, telles que la méthode de la probabilité maximale, peuvent être utilisées pour adapter l'équation (3) aux données de PMD des câbles mesurés afin de trouver les valeurs concernant α et β .

La densité de probabilité des coefficients de PMD de liaison, X_M , de M câbles concaténés a la même forme que (3), mais en remplaçant α et β par $M\alpha$ et $M\beta$.

$$f_{\text{link}}(X_M; M, \alpha, \beta) = \frac{2(M\beta)^{M\alpha} X_M^{2M\alpha-1}}{\Gamma(M\alpha)} \exp(-M\beta X_M^2) \quad (4)$$

Par conséquent, les paramètres α et β trouvés en adaptant l'équation (3) aux coefficients de PMD de câbles mesurés peuvent être utilisés dans l'équation (4) pour décrire la densité de probabilité des coefficients de PMD de liaison.

c) Méthode analytique indépendante du modèle [2]

Une variante plus générale que celle décrite dans la méthode b) peut être utilisée. Elle n'établit aucune hypothèse relative à la forme de la fonction de densité décrivant les coefficients de PMD mesurés de la fibre en câble.

Après avoir mesuré les coefficients de PMD, x_i , sur les fibres en câbles N , calculer la moyenne, la variance et le troisième moment de leurs carrés.

$$\mu_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 \quad \mu_2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i^2 - \mu_1)^2 \quad \mu_3 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i^2 - \mu_1)^3 \quad (5)$$

Soit X_M une variable aléatoire représentant le coefficient de PMD de liaison d'un trajet de fibre formé à partir de la concaténation de câbles de longueurs égales M , et soit u une valeur possible de X_M . En invoquant le théorème de limite central étendu [3], on peut démontrer que la distribution des coefficients de PMD de liaison est approchée par

$$F_{\text{link}}(u; M) = \Phi(z(u)) + tM^{-1/2} (1 - z(u)^2) \phi(z(u)) \quad (6)$$

où

$$\phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \quad \Phi(z) = \int_{-\infty}^z \phi(y) dy$$

et

$$z(u) = (u^2 - \mu_1) \sqrt{\frac{M}{\mu_2}} \quad t = \frac{\mu_3}{6\mu_2^{3/2}}$$

L'équation de différentiation (6) par rapport à u fournit une approximation à la fonction de densité de probabilité du coefficient de PMD de liaison.

A.5.2.2 Détermination de la valeur de conception de PMD

La fonction de densité trouvée pour les coefficients de PMD de liaison utilisant l'une des trois méthodes décrites en A.5.2.1 peut être maintenant utilisée pour calculer la valeur de conception de PMD. Pour une liaison concaténée constituée de M câbles, la valeur de conception de PMD, PMD_Q est définie en tant que valeur que le coefficient de PMD de liaison, X_M , dépasse avec la probabilité Q .

$$P\{X_M > PMD_Q\} = Q \quad (7a)$$

Standard fitting techniques, such as the method of maximum likelihood, can be used to fit equation (3) to measured cable PMD data to find values for α and β .

The probability density of the link PMD coefficients, X_M , of M concatenated cables has the same form as (3), but with α and β replaced by $M\alpha$ and $M\beta$:

$$f_{\text{link}}(X_M; M, \alpha, \beta) = \frac{2(M\beta)^{M\alpha} X_M^{2M\alpha-1}}{\Gamma(M\alpha)} \exp(-M\beta X_M^2) \quad (4)$$

Consequently, the α and β parameters found by fitting equation (3) to the measured cable PMD coefficients can be used in equation (4) to describe the probability density of the link PMD coefficients.

c) Model-independent analytic method [2]

A more general alternative to the one described in method b) can be used. It does not make any assumptions regarding the form of the density function that describes the measured PMD coefficients of the cabled fibre.

After measuring the PMD coefficients, x_i , on N cabled fibres, compute the mean, variance and third moment of their squares.

$$\mu_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 \quad \mu_2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i^2 - \mu_1)^2 \quad \mu_3 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i^2 - \mu_1)^3 \quad (5)$$

Let X_M be a random variable representing the link PMD coefficient of a fibre path formed from the concatenation of M equal length cables, and let u be a possible value of X_M . Invoking the extended central limit theorem [3], it can be shown that the distribution of the link PMD coefficients is approximated by

$$F_{\text{link}}(u; M) = \Phi(z(u)) + tM^{-1/2}(1 - z(u)^2)\phi(z(u)) \quad (6)$$

where

$$\phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \quad \Phi(z) = \int_{-\infty}^z \phi(y) dy$$

and

$$z(u) = (u^2 - \mu_1) \sqrt{\frac{M}{\mu_2}} \quad t = \frac{\mu_3}{6\mu_2^{3/2}}$$

Differentiating equation (6) with respect to u provides an approximation to the link PMD coefficient probability density function.

A.5.2.2 Determining the PMD design value

The density function found for the link PMD coefficients using one of the three methods described in A.5.2.1 can now be used to compute the PMD design value. For a concatenated link comprised of M cables, the PMD design value, PMD_Q , is defined as the value that the link PMD coefficient, X_M , exceeds with probability Q .

$$P\{X_M > PMD_Q\} = Q \quad (7a)$$